



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO INTEGRAL DEL SISTEMA DE DRENAJE
VIAL PARA OBRAS DE ARTE MENOR (DRENAJE
LONGITUDINAL Y TRASVERSAL) PARA LA
CARRETERA PACHON MINA ZHARO DE 7.2 KM
UBICADA EN EL CANTON SUSCAL EN LA
PROVINCIA DE CAÑAR.**

“Tesina previa a la obtención del título de Ingeniero Civil”

Autores:

Byron Patricio Rodríguez Merchán

Franklin Santiago Calle Calva

Director:

Ing. Diego Benjamín Idrovo Murillo.

Cuenca-Ecuador

2013



Resumen:

El presente documento está basado en una recopilación bibliográfica que pretende plasmar en una obra real el diseño integral del sistema de drenaje vial para obras de arte menor (drenaje longitudinal y transversal) para la carretera Pachón Mina Zharo de 7.2 km ubicada en el cantón Suscal provincia del Cañar. La aplicación práctica tiene por objetivo plasmar en una obra real, todos los conocimientos teóricos conjuntamente con el empleo de herramientas computacionales como AutoCAD y Gis que nos facilitan el diseño.

Palabras Claves:

Drenaje Vial, Drenaje Longitudinal: Cunetas, Subdrenaje, Drenaje Transversal: Alcantarillas



INDICE GENERAL

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.	15
1.1 SELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TEMA.	15
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.	15
CAPITULO 2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVOS GENERAL.	17
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
CAPITULO 3. DESCRIPCION Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	18
3.1 UBICACIÓN E IDENTIFICACION DEL PROYECTO VIAL.....	18
3.2 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	19
3.3 UBICACIÓN DEL PROYECTO EN FUNCIÓN DE LAS ESTACIONES METEREOLÓGICAS.	19
CAPITULO 4. INTRODUCCION DE DRENAJE VIAL.	22
4.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BASICOS.....	22
4.1.1 CLASIFICACION DE DRENAJE VIAL.	22
4.1.2 DRENAJE LONGITUDINAL.	23
4.1.2.1 CUNETAS.	23
4.1.2.1.1 DEFINICION Y CONCEPTOS BASICOS.	23
4.1.2.1.2 TIPOS DE CUNETAS.	24
4.1.2.1.3 PARAMETROS Y NORMAS DE DISEÑO.....	25
4.1.2.1.3.1 CAUDAL EN BASE A LA EXPRESIÓN DE HENDERSON.....	26
4.1.2.1.3.2 DISEÑO HIDRÁULICO.....	27
4.1.2.1.4 CALCULOS Y RESULTADOS.....	27
4.1.2.1.5 PLANOS CON DETALLES CONSTRUCTIVOS.....	31
4.1.2.2 SUBDRENAJE.....	32
4.1.2.2.1 DEFINICION Y CONCEPTOS BASICOS.	32
4.1.2.2.1.1 TIPOS Y USOS DEL SUBDRENAJE EN CARRETERAS.....	33
4.1.2.2.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SUBDREN.	36
4.1.2.2.3 PARAMETROS Y NORMAS DE DISEÑO.....	37
4.1.2.2.3.1 MATERIAL DE FILTRO.....	37
4.1.2.2.4 UBICACIÓN DE LOS SUBDRENES EN LOS PLANOS	44
4.1.3 DRENAJE TRANSVERSAL.....	45
4.1.3.1 ALCANTARILLAS.	45
4.1.3.1.1 DEFINICION Y CONCEPTOS BASICOS.	45



4.1.3.1.2 TIPOS DE ALCANTARILLAS.	48
4.1.3.1.3 PARAMETROS DE DISEÑO.	50
4.1.3.1.3.1 ESTUDIO O ANALISIS HIDROLOGICOS.	51
4.1.3.1.3.1.1 ANALISIS DE PRECIPITACIONES.	52
4.1.3.1.3.1.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS HIDROLÓGICOS.	52
4.1.3.1.3.1.1.1.1 DISTRIBUCION DE GUMBEL.	52
4.1.3.1.3.1.1.1.2 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMAS 24H. .	54
4.1.3.1.3.1.1.1.3 TEST DE KOLMOGOROV SMIRNOV.	56
4.1.3.1.3.1.2 ANALISIS HIDROLOGICO DE ALCANTARILLAS.	59
4.1.3.1.3.1.2.1 METODO RACIONAL.	61
4.1.3.1.3.1.2.1.1 AREA DE DRENAJE (A).	61
4.1.3.1.3.1.2.1.2 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA.	66
4.1.3.1.3.1.2.1.3 INTENSIDAD DE PRECIPITACION (I).	67
4.1.3.1.3.1.2.1.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.	69
4.1.3.1.3.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS.	70
4.1.3.1.3.2.1 CONCEPTOS HIDRÁULICOS.	71
4.1.3.1.3.2.2 DISEÑO HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS.	71
4.1.3.1.3.2.3 COMPROBACIÓN HIDRÁULICA.	72
4.1.3.1.3.2.3.1 SECCIÓN DE CONTROL.	72
4.1.3.1.3.2.3.2 FLUJO CON CONTROL DE ENTRADA.	72
4.1.3.1.3.2.3.3 FLUJO CON CONTROL DE SALIDA.	74
4.1.3.1.4 CÁLCULOS Y RESULTADOS.	80
4.1.5 EMPLAZAMIENTO DE LAS OBRAS DE DRENAJE DISEÑADAS EN LOS PLANOS TOPOGRAFICOS.	86
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	91

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Cantón Suscal en la provincia del Cañar.	18
Figura 2 Localización de estaciones meteorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador.	20
Figura 3 Acercamiento del área de estudio.	20
Figura 4 Ubicación de la estación meteorológica.	21
Figura 5 Sistema de drenaje vial (Luis Bañon Blázquez).	23
Figura 6 Representación de cunetas en la vía (Fuente Luis Bañon Blázquez).	24
Figura 7 Tipología general de cunetas (Fuente Luis Bañon Blázquez).	25
Figura 8 Sección tipo (Cuneta de diseño).	31
Figura 9 Esquema de dren colector longitudinal (Control de aguas superficiales y subterráneas).	33
Figura 10 Esquema de un dren interceptor usado para cortar la infiltración y abatir el nivel freático (Control de aguas superficiales y subterráneas).	34
Figura 11 Empleo simultaneo de drenes longitudinales (Control de aguas superficiales y subterráneas).	34
Figura 12 Instalación múltiple para abatimiento del nivel freático (Control de aguas superficiales y subterráneas).	35
Figura 13 Capa permeable en un talud, drenada por un colector longitudinal (Control de aguas superficiales y subterráneas).	36
Figura 14 Sistemas de subdren de zanja (Control de aguas superficiales y subterráneas).	37
Figura 15 Tipos de tejidos en geotextiles (Control de aguas superficiales y subterráneas).	40
Figura 16 Nomograma Caudal – Pendiente (Fuente Lawson 1982).	44
Figura 17 Esquema de Cabezal (MTOP 2003).	47
Figura 18 Longitud de alcantarillas (MTOP, 2003).	49
Figura 19 Distribución de Gumbel para diferentes años de precipitación.	55
Figura 20 Área de drenaje de todo el proyecto vial.	60
Figura 21 Subdivisión de una cuenca hidrográfica en 3 subcuentas menores.	62
Figura 22 Área de drenaje (A1-A7).	63
Figura 23 Área de drenaje (A8-A11).	64
Figura 24 Área de drenaje (A12-A16).	64
Figura 25 Área de drenaje (A16-A22).	65
Figura 26 Área de drenaje (A22-A25).	65
Figura 27 Zonas meteorológicas del país (Fuente: Estudio de lluvias intensas INAMHI Luis Rodríguez Fiallos, 1999).	67
Figura 28 Ecuaciones representativas de la zona (Fuente: Estudio de lluvias intensas INAMHI Luis Rodríguez Fiallos, 1999).	68
Figura 29 Ecuación representativa de la zona de estudio (Fuente: Estudio de lluvias intensas INAMHI Luis Rodríguez Fiallos).	69
Figura 30 Flujo con control de entrada (Fuente: Carciente, 1985).	73
Figura 31 Flujo con control de entrada (Fuente: Carciente, 1985).	73
Figura 32 Flujo de control de salida caso 1 (Fuente: Carciente, 1985).	74
Figura 33 Flujo con control de salida caso 2 (Fuente: Carciente, 1985).	75
Figura 34 Clasificación de flujo con control de salida (Fuente: DNV, 1996).	75
Figura 35 Vista en planta de una alcantarilla y secciones de control (Fuente: IMFIA & MTOP, 2000).	77



Figura 36 Definición esquemática del flujo en alcantarillas. (Fuente: IMFIA & MTOP, 2000).	78
Figura 37 Tipos de flujos en las alcantarillas (Fuente: IMFIA & MTOP,2000).....	79
Figura 38 Vista lateral de cabezal para alcantarillas de 1200mm.....	86
Figura 39 Elevación frontal del cabezal para alcantarillas de 1200mm.	86
Figura 40 Elevación lateral de cabezal para alcantarillas de 1400mm.	87
Figura 41 Elevación frontal del cabezal para alcantarillas de 1400mm.	87
Figura 42 Elevación lateral de cabezal para alcantarillas de 1600mm.	88
Figura 43 Elevación frontal de cabezal para alcantarilla de 1600mm.....	88
Figura 44 Elevación frontal de cabezal para alcantarilla de cajón.	89
Figura 45 Elevación lateral de cabezal para alcantarillas de cajón.....	89



INDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Datos de históricos de precipitación máxima 24 h.....	22
Tabla 2 Parámetros necesarios para el diseño de cunetas	28
Tabla 3 Diseño de cunetas por el método de Henderson.....	29
Tabla 4 Diseño hidráulico de cunetas	30
Tabla 5 Granulometría de materiales para filtro usado en varios países. (Terzaghi 1948).	39
Tabla 6 Rango de valores de algunas propiedades representativa de algunos geotextiles utilizados para filtros (Lawson 1982).	41
Tabla 7 Factor de infiltración (Lawson 1982).	43
Tabla 8 Dimensionamiento de diferentes cabezales. (MTOP 2003).	46
Tabla 9 Datos históricos de precipitación máxima 24 horas (Estación Suscalpamba). ..	54
Tabla 10 Probabilidad de Gumbel.	55
Tabla 11 Intensidades para los diferentes periodos de retorno.	55
Tabla 12 Test de Kolmogorov Smirnov	57
Tabla 13 Distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov. (Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, Ministerio de transporte y comunicaciones Perú). ...	58
Tabla 14 Verificación de ajuste.	58
Tabla 15 Coeficiente de determinación.	59
Tabla 16 Coeficiente de escorrentía (MTOP, 2003).	66
Tabla 17 Coeficiente de rugosidad de Manning (MTOP 2003).	72
Tabla 18 Coeficiente de pérdidas de carga a la entrada a las alcantarillas (Fuente: IMFIA & MTOP, 2000).	77
Tabla 19 Clasificación de los tipos de flujo en alcantarillas. (Fuente: IMFIA & MTOP, 2000).	79
Tabla 20 Caudal aplicando el método racional).	80
Tabla 21 Tipo de alcantarillas.	81
Tabla 22 Coeficiente de rugosidad para el diseño (Fuente: hidráulico de canales abiertos, Ven Te Chow, 1994).	82
Tabla 23 Diseño hidráulico de alcantarillas	83
Tabla 24 Análisis de flujo de alcantarillas.....	84
Tabla 25 Comprobación hidráulica de alcantarillas	85



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Franklin Santiago Calle Calva, autor de la tesina "Diseño integral del sistema de drenaje vial para obras de arte menor (drenaje longitudinal y transversal) para la carretera Pachón Mina Zharo de 7.2 km ubicada en el cantón Suscal provincia del Cañar", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 07 de octubre de 2013

Franklin Santiago Calle Calva
0301917795

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Franklin Santiago Calle Calva**, autor de la tesina **"Diseño integral del sistema de drenaje vial para obras de arte menor (drenaje longitudinal y transversal) para la carretera Pachón Mina Zharo de 7.2 km ubicada en el cantón Suscal provincia del Cañar"**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 07 octubre de 2013

Franklin Santiago Calle Calva
0301917795

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Byron Patricio Rodríguez Merchán**, autor de la tesis **“Diseño integral del sistema de drenaje vial para obras de arte menor (drenaje longitudinal y transversal) para la carretera Pachón Mina Zharo de 7.2 km ubicada en el cantón Suscal provincia del Cañar”**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 07 de octubre de 2013

Byron Patricio Rodríguez Merchán
0302015953

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, **Byron Patricio Rodríguez Merchán**, autor de la tesina **“Diseño integral del sistema de drenaje vial para obras de arte menor (drenaje longitudinal y transversal) para la carretera Pachón Mina Zharo de 7.2 km ubicada en el cantón Suscal provincia del Cañar”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 07 octubre de 2013

Byron Patricio Rodríguez Merchán
0302015953

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



DEDICATORIA

A mi madre, Tila, la cual fue un apoyo incondicional desde que inicie mis estudios a corta edad, guiándome e impartíendome valores con el fin de hacer de su hijo una persona grata e importante ante los ojos de la sociedad.

A mi padre, Abdón, quien me impartió su fortaleza, seguridad y perseverancia frente a los problemas y dificultades que se presentan en la vida, brindándome valores de honestidad y responsabilidad, este logro va por ti, ya que la herencia más grande que se le puede dar a un hijo es la educación.

A mis hermanos quienes me guiaron al ser el hijo menor de la familia, formándome en un entorno amigable y agradable, enseñándome que la unión familiar puede romper cualquier barrera que no nos permita superarnos en la vida, gracias por todo a más de ser mis hermanos les considero mis mejores amigos.

SANTIAGO



DEDICATORIA:

A mis padres por la confianza, sacrificio, por su apoyo incondicional durante todo el trayecto estudiantil, y por la motivación que me brindaron día a día para lograr a culminar con este gran sueño.

A mis abuelos por estar presentes en todo momento brindándome su apoyo, sus consejos, ya que todo esto ha contribuido para el logro de mis objetivos y realizarme profesionalmente.

BYRON



AGRADECIMIENTO

En primer lugar damos gracias a Dios, por permitirnos culminar esta etapa importante de nuestras vidas, y por la gran bendición de concedernos unos padres ejemplares que día tras día nos brindaron su apoyo incondicional frente a todas las dificultades que se presentaron a lo largo de la carrera, ya sea con su apoyo moral y sus sabios consejos.

Un agradecimiento profundo al Ing. Diego Idrovo Murillo, profesor y director de la tesina, quien a lo largo de la carrera nos impartió sus conocimientos en las aulas, y su apoyo y orientación para la conclusión satisfactoria de la presente.

Debemos destacar el apoyo muy importante y desinteresado del Ing. Cristian Coello MSc, aclarando una serie de dudas concernientes a la elaboración de la tesina, particularmente en el área Hidrológica.

Santiago, Byron



CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.

Las estructuras hidráulicas son herramientas fundamentales para el control y manejo efectivo del agua en una vía. El principal objetivo del drenaje vial es reducir al máximo la cantidad de agua. De manera de dar salida rápida al agua que llega a la vía. Por lo cual proveer de un buen sistema de drenaje es uno de los factores más importantes en un proyecto vial. Por lo tanto la recolección, encauzamiento y disposición de las aguas pluviales, tanto superficiales, como subterráneas (cortes de carretera, nivel freático elevado) es esencial para garantizar la estabilidad e integridad de una vía.

El presente documento está basado en una recopilación bibliográfica que pretende plasmar en una obra real el “diseño integral del sistema de drenaje vial para obras de arte menor (drenaje longitudinal y transversal) para la carretera Pachón Mina Zharo de 7.2 km ubicada en el cantón Suscal provincia del Cañar”. Con lo cual aplicaremos todos los conocimientos teóricos para el diseño.

1.1 SELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TEMA.

El tema de la presente monografía está enfocado al área de diseño de drenaje vial con un enfoque en obras de drenaje de arte menor (drenaje longitudinal y drenaje transversal), el que consiste en el **DISEÑO INTEGRAL DEL SISTEMA DE DRENAJE VIAL PARA OBRAS DE ARTE MENOR (DRENAJE LONGITUDINAL Y TRASVERSAL) PARA LA CARRETERA PACHON MINA ZHARO DE 7.2 KM UBICADA EN LA PROVINCIA DE CAÑAR CANTON SUSCAL**. Con el objetivo de ampliar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera así como en el módulo de drenaje vial dictado en el curso de graduación.

El aprendizaje y aplicación de conceptos básicos en drenaje vial incluido el manejo de software como HEC-HMS, HEC-RAS y el ARC-GIS AUTOCAD han permitido la elaboración de esta monografía.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.

Es de gran importancia preservar la estabilidad de la superficie y del cuerpo de la plataforma de la carretera eliminando el agua superficial, la sub superficial y la subterránea con las adecuadas obras de drenaje, para evitar impactos negativos sobre su estabilidad, durabilidad y transitabilidad.

Las estructuras viales se ven afectadas por una gran cantidad de cauces de agua de origen natural por lo cual el drenaje es de vital importancia para la conservación del ciclo hidrológico de tal manera de conservar el medio ambiente.



Para ello es necesario en cada proyecto específico, analizar el grado de problema y la cantidad de recursos que se justifica invertir para superar el problema. En este análisis, la magnitud de la demanda de usuarios de la carretera es muy importante para poder valorar los beneficios que la comunidad obtendrá y su relación frente a los costos de las obras.

El diseño tiene como objetivo evacuar la mayor cantidad de agua en el menor tiempo posible de manera de ofrecer a la estructura vial la mayor seguridad.



CAPITULO 2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERAL.

Diseño de drenaje longitudinal y transversal de la carretera PACHON MINA ZHARO de 7.2KM de longitud.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Obtener caudales de diseño a partir de los métodos aprobados por el MTOP: Método Racional y el método SCS (Soil Conservacion Service).
Aplicar correctamente los criterios de diseño y reconocer el requerimiento de los diferentes componentes del sistema.
Aplicar modelos computacionales en el diseño de drenaje vial (EXCEL, ARG GIS, AUTOCAD).

CAPITULO 3. DESCRIPCION Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

3.1 UBICACIÓN E IDENTIFICACION DEL PROYECTO VIAL.

El proyecto vial se encuentra en Ecuador en el cantón Suscal en la provincia del Cañar. La configuración topográfica afirma que representa la máxima altitud del occidente de la provincia del Cañar, la cual ha sido hasta la actualidad, un paso necesario entre la sierra y la costa ecuatoriana y viceversa.

Para podernos ubicar de mejor manera con la ayuda del programa ARG-GIS en el cual se identifica el proyecto vial:

La Figura 1 describe el cantón Suscal dentro de la provincia del Cañar y en el recuadro más pequeño de la misma figura representa a la provincia del Cañar dentro del Ecuador.

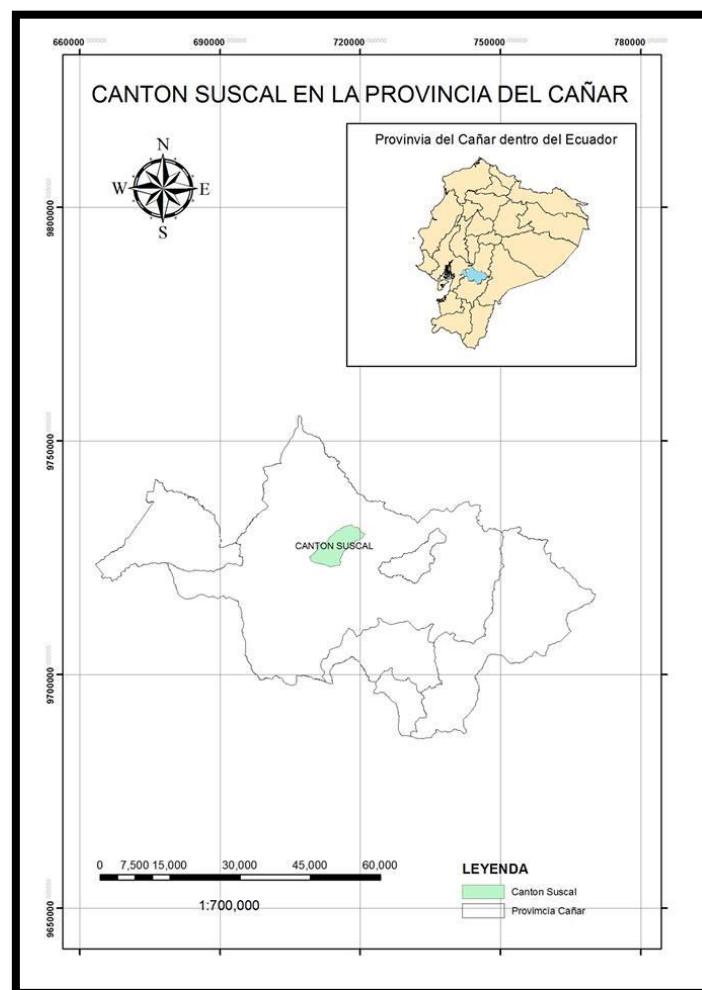


Figura 1 Cantón Suscal en la provincia del Cañar.





Figura 2 Localización de estaciones meteorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador.

Para poder determinar de mejor manera la estación meteorológica que influye dentro del área de estudio procedemos a realizar un acercamiento que se puede observar en la figura 3 con lo cual determinamos la estación para nuestra área de estudio.

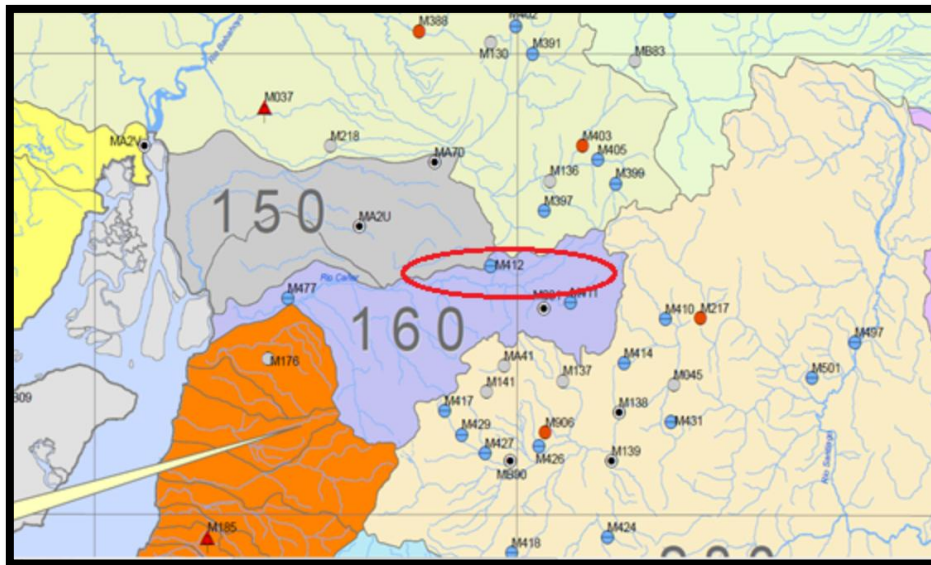


Figura 3 Acercamiento del área de estudio

Se puede observar que la estación meteorológica que influye a nuestra área de estudio es la estación M412 (Suscalpamba) de la cual utilizaremos los datos requeridos para el diseño.



INAMHI INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

INICIO TIEMPO CLIMA AGUA RED DE ESTACIONES AVISOS Y ALERTAS MAPAS

TEMAS DE INTERÉS

- Convenios
- Oferta Laboral
- Aprendiendo
- Enlaces
- Conozca el Inamhi
- Información OMM
- Foros Climáticos
- Regional Guayaquil

RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Cantón: Suscaspamba
Elevación: 2620 msnm
Fecha-Instalación: 22-may-63
Latitud: 022738S
Longitud: 790351W
Parroquia:
Reubicación:
Codigo: M412
Nombre: SUSCALPAMBA(CAPILLA)
Tipo: PV
Provincia: CA
Estado: FUNCIONANDO

Figura 4 Ubicación de la estación meteorológica.

De dicha estación se procedió a obtener todos los datos históricos de precipitaciones máximas.

Año	Suscaspamba
1964	45
1965	38.3
1966	53
1967	32.5
1968	60
1969	60
1970	35.5
1971	43.7
1972	44.3
1973	41.6
1974	44.8
1975	65.4
1976	52.8
1977	55.9
1978	41
1979	36
1980	52.2
1981	55.2
1982	64.7
1983	49.8



1984	46.4
1985	45.5
1986	--
1987	--
1988	--
1989	18
1990	34.2
1991	41.4
1992	104.4

Tabla 1 Datos de históricos de precipitación máxima 24 h

Estos valores corresponden a la mayor precipitación detectada a lo largo de un año, lo que corresponde a la máxima precipitación 24 horas.

Cabe recalcar que los datos que se pudieron recolectar para el diseño son los que se muestran en la Tabla 1.

CAPITULO 4. INTRODUCCION DE DRENAJE VIAL.

4.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BASICOS.

4.1.1 CLASIFICACION DE DRENAJE VIAL.

Las obras de drenaje vial son elementos estructurales cuya finalidad es evacuar el agua acumulada por efectos de precipitaciones y de escorrentía. Las estructuras de drenaje vial pueden ser de control y protección.

Las estructuras de drenaje vial trabajan directamente sobre la carretera dividiéndose estas en obras de drenaje de arte menor y obras de drenaje de arte mayor. Entendiéndose por obras de drenaje de arte menor el drenaje longitudinal (cunetas, cunetas de coronación, subdrenaje) y al drenaje transversal (alcantarillas). Y por obras de drenaje de arte mayor los puentes en general.

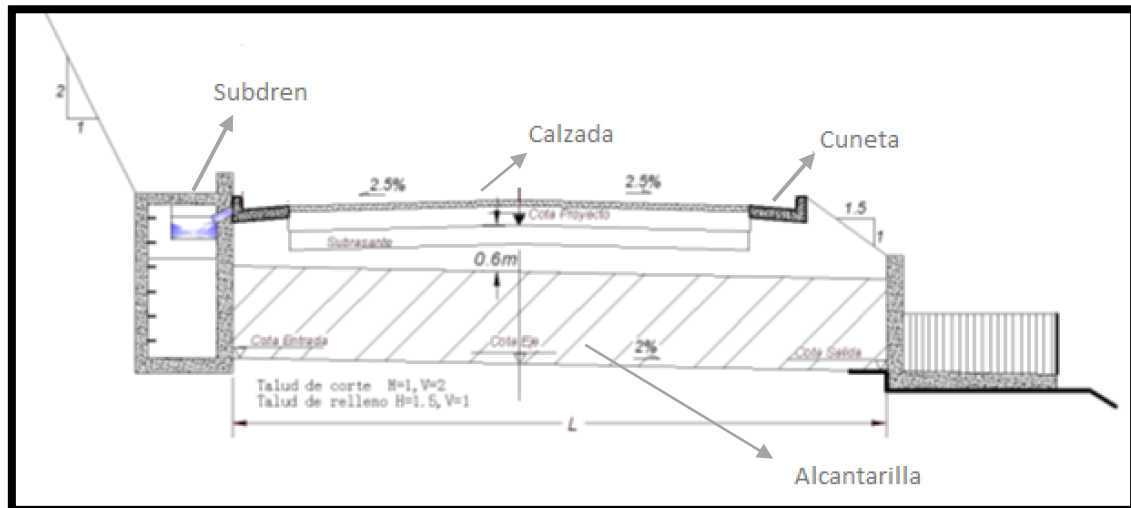


Figura 5 Sistema de drenaje vial (Fuente: Luis Bañon Blázquez).

4.1.2 DRENAJE LONGITUDINAL.

Toda agua que fluye a lo largo de la superficie de la calzada de una vía, tanto como el agua pluvial que circula a través de la calzada, como el agua aportada por los taludes adyacentes a la vía, debe ser encausada y evacuada de tal manera que no produzca daños a la estructura de la vía ni afecte su transitabilidad.

Para evitar dichos efectos negativos que el agua puede causar a la vía se consideraran los tipos de obras hidráulicas necesarias para captar y eliminar las aguas que se acumulan a lo largo de la plataforma o estructura vial.

El drenaje longitudinal deberá proyectarse como una red o conjunto de redes que recoja el agua y la conduzca hacia el punto de desagüe restituyendo a su cauce natural.

4.1.2.1 CUNETAS.

4.1.2.1.1 DEFINICION Y CONCEPTOS BASICOS.

Las cunetas son canales o zanjas longitudinales revestidas o sin revestir, abiertas en el terreno que se construyen a ambos lados o a un solo lado de la vía, con el propósito de recibir y conducir el agua pluvial que se escurre por la calzada, el agua que escurre por los taludes de cortes y a veces la que escurre de pequeñas áreas adyacentes.

Cuando las cunetas superan el corte del terraplén, se prolongan a lo largo del pie del terraplén dejando una berma convencional entre dicho pie y el borde de la cuneta para evitar que se remoje el terraplén lo cual es causa de asentamientos.

Estas obras tienen la finalidad de conducir el agua a un drenaje natural o una obra transversal con el propósito de alejarla rápidamente de la zona de

ocupación de la carretera, en ocasiones puede servir como defensa de pequeños derrumbes.

Además de esta función principal las cunetas prestan otros tipos de funciones útiles para el correcto funcionamiento de la infraestructura vial como son: Evacuación de las aguas infiltradas tanto en el terreno firme como en el terreno circundante.

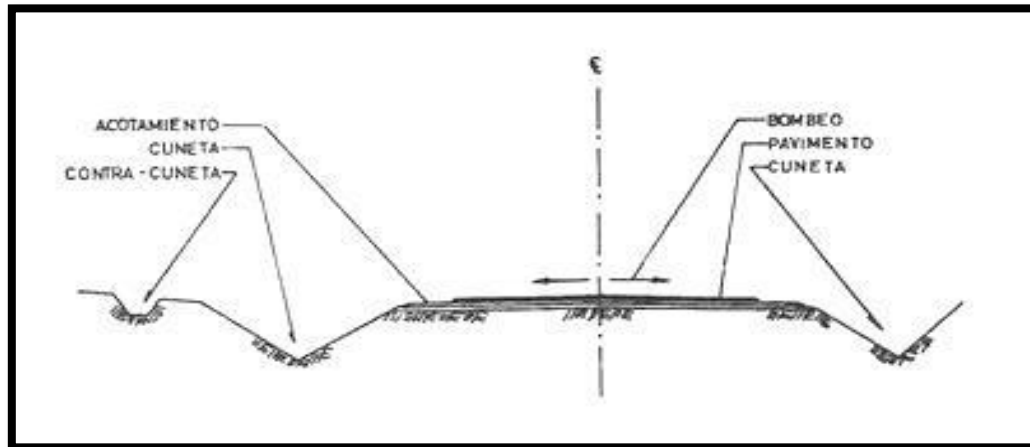


Figura 6 Representación de cunetas en la vía (Fuente Luis Bañón Blázquez)

4.1.2.1.2 TIPOS DE CUNETAS.

Existen diversos tipos de secciones empleadas en la construcción de cunetas. Si bien es cierto existen algunas secciones que hidráulicamente son mejores que otras, no es éste el único factor que debe intervenir en la geometría de una cuneta, los siguientes factores deben también ser tomados en cuenta:

- Sección hidráulica apropiada.**- Para la evacuación del caudal máximo previsto en el área de estudio.
- Garantizar seguridad.**- Se debe evitar secciones con pendientes abruptas y puntos angulosos, ya que, estos podrían provocar el vuelco del vehículo por lo que estos podrían caer en las cunetas por algún tipo de razón.
- Durabilidad.**- La infraestructura debe ser elaborada con materiales adecuados y procurando un cuidado en la ejecución de forma que se mantenga operativa con los mínimos costos de mantenimiento y reparación.
- Simplicidad.**- Geométrica, de forma que su ejecución sea rápida barata y eficaz

Las cunetas pueden ser triangulares, trapezoidales y rectangulares, se recomienda las de sección triangular para vías por su seguridad y facilidad de mantenimiento.

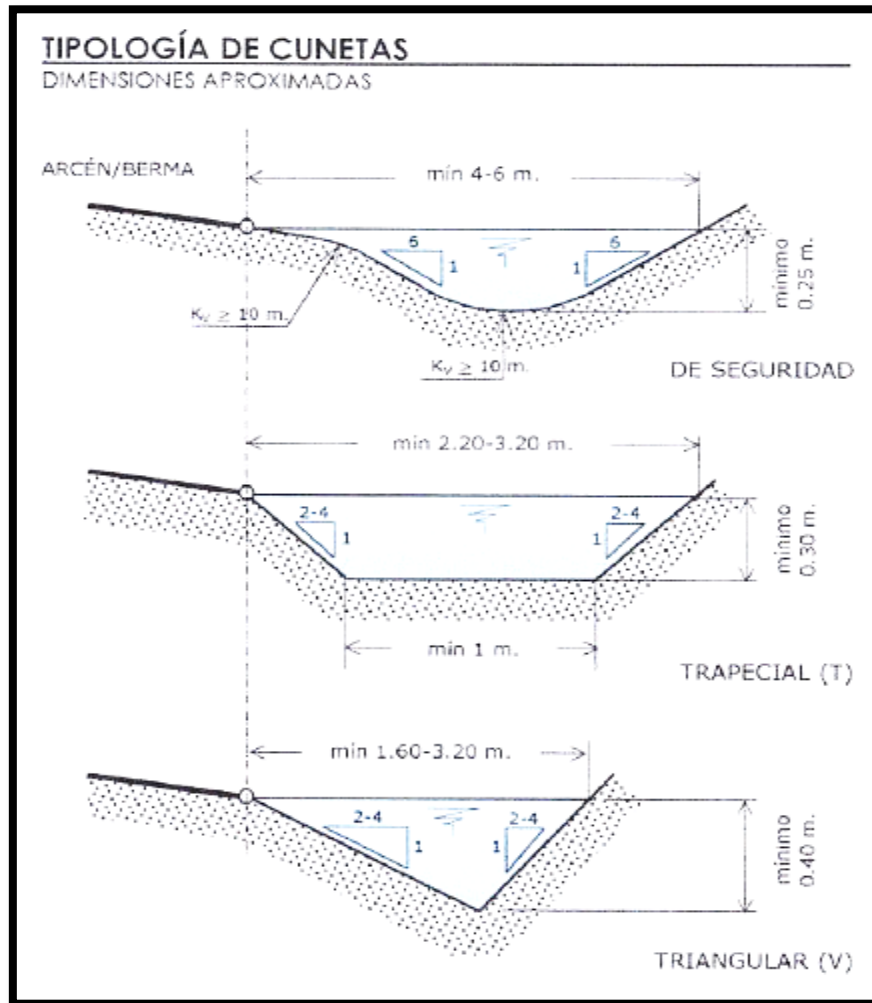


Figura 7 Tipología general de cunetas (Fuente: Luis Bañon Blázquez).

4.1.2.1.3 PARAMETROS Y NORMAS DE DISEÑO.

Las cunetas pueden construirse con diferentes materiales en función de la velocidad de circulación del agua, magnitud que depende directamente de la inclinación longitudinal de la cuneta, que suele coincidir con la adoptada para la vía.

Una velocidad superior a la tolerable (4.5 m/s en hormigón MTOP 2003) causaría arrastres de partículas y erosiones de la superficie de la cuneta,



reduciendo la funcionalidad de la cuneta, por lo que en el presente diseño se comprobó que la velocidad de flujo a través de la cuneta no sobrepase dicho valor (Tabla 4).

De ser necesario esta se podría revestir con un material hidráulicamente más competente, cuando se presentan factores como:

- En zonas de elevada pendiente: donde la velocidad de agua que circula por gravedad es alta.
- Velocidad del agua sea muy baja: produciendo sedimentación de materiales, este fenómeno ocurre en pendientes inferiores al 1 %.
- Donde la conservación resulte difícil: generalmente en las vías urbanas.

El área hidráulica de cuneta se determina con base al caudal máximo de diseño, a la sección transversal, a la longitud, a la pendiente y a la velocidad.

El periodo de diseño de las cunetas depende del tipo de proyecto vial, sin embargo se recomienda realizar el cálculo para un periodo de retorno de 25 años. La precipitación de diseño se considera de 20 a 30 min de duración (Ven Te Chow, 1994).

4.1.2.1.3.1 CAUDAL EN BASE A LA EXPRESIÓN DE HENDERSON.

Para la determinación del caudal de diseño nos basamos en las expresiones de Henderson que ha desarrollado una metodología de cálculo para la relación precipitación escorrentía de superficies planas considerando la pendiente transversal de la superficie vial. (MTOP, 2003)

El método establece las siguientes relaciones:

$$V_o = \frac{i}{3.6 * 10^6}$$

$$a = \frac{S_o^{1/2}}{n}$$

$$t_e = \left(\frac{L}{a * V_o^{2/3}} \right)^{3/5}$$

$$q_{max} = a * (V_o * t_e)^{5/3}$$

Dónde:

i = Intensidad de precipitación en exceso (mm/h)

S_o = Pendiente media de la superficie.

n = Coeficiente de rugosidad.

L = Longitud del tramo (m)

t_e = Tiempo de equilibrio para que se presente el q_{max} (s)

q_{max} = Caudal unitario máximo (m³/s/m).



Como se puede observar según HENDERSON se necesita la intensidad de precipitación en exceso i (mm/h) para lo cual es necesario realizar el análisis de precipitaciones (Tabla 11).

4.1.2.1.3.2 DISEÑO HIDRÁULICO.

El diseño o dimensionamiento hidráulico de la cuneta consiste en verificar que la capacidad hidráulica de la estructura estimada con la expresión de Manning para canales se superior al caudal de diseño. (Ven Te Chow, 1994).

Manning propone la siguiente expresión:

$$Q = \frac{A_m R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$
$$R = \frac{A_m}{P_m}$$

Dónde:

A_m = Área (m^2)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente del fondo (m/m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

Q = Caudal de diseño (m^3/s)

A_m = Área mojada (m^2)

P_m = Perímetro mojado (m)

4.1.2.1.4 CALCULOS Y RESULTADOS.

Análisis de caudal máximo según la expresión de "HENDERSON".

Pendiente transversal	s (%)	2.000
Ancho de vía	w (m)	8.400
Coeficiente rugosidad	n	0.014
Intensidad diaria para un periodo de retorno dado	IdTR	3.357

*Tabla 2 Parámetros necesarios para el diseño de cunetas*

Nota: El valor I_dTR se lo analiza en el análisis Hidrológico de alcantarillas.

La Tabla 3 se presenta el número de alcantarillas con sus respectivas abscisas y las longitudes de aporte de cunetas a sus respectivas alcantarillas tanto del lado derecho como izquierdo y mediante las ecuaciones de Henderson determinamos la capacidad hidráulica de cada una de las cunetas para nuestro diseño.

En la Tabla 4 se realiza el dimensionamiento hidráulico de la cuneta de manera de determinar la sección tipo para el proyecto de tal forma que el caudal de soporte de dicha sección sea mayor al caudal de diseño. (Henderson).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

		Longitud de aporte de cunetas a la alcantarilla								
Alcantarilla	Abscisa	Izquierda		Derecha		Henderson				
		Longitud (m)	S (%)	Longitud (m)	S (%)	Vo	A	te (s)	qmax (m3/s/m)	Q (m3/s)
A1	0+214.82	178.57	-6.39	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.042
A2	0+688.94	474.12	-6.86	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.111
A3	0+788.95	100.01	-6.86	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.023
A4	0+954.27	165.32	-6.88	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.039
A5	1+066.69	112.42	-5.53	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.026
A6	1+264.24	197.55	-5.33	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.046
A7	1+536.07	268.64	-2.86	97.01	0.52	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.086
A8	1+629.89	-----	-----	258.66	1.76	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.061
A9	1+888.55	-----	-----	374.6	4.20	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.088
A10	2+263.15	-----	-----	336.85	4.20	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.079
A11	2+685.77	85.77	-2.99	292.88	7.50	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.089
A12	2+978.65	-----	-----	316.1	7.50	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.074
A13	3+294.75	-----	-----	295.66	7.20	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.069
A14	3+590.41	-----	-----	259.59	7.20	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.061
A15	4+028.73	178.73	-3.02	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.042
A16	4+351.32	322.59	-1.83	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.076
A17	4+679.88	328.56	-2.17	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.077
A18	5+005.85	325.97	-7.18	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.076
A19	5+257.27	251.42	-7.18	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.059
A20	5+380.54	123.27	-3.84	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.029
A21	5+702.24	321.7	-8.49	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.075
A22	6+036.68	334.44	-6.62	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.078
A23	6+307.94	271.26	-6.62	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.064
A24	6+626.12	318.18	-8.56	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.075
A25	6+678.23	52.11	-8.56	-----	-----	0.0000559	10.10	29.68	0.00023	0.012

Tabla 3 Diseño de cunetas por el método de Henderson.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DIMENSIONAMIENTO HIDRAULICO DE CUNETAS												
Elemento	Abscisa	S (%)	A (m2)	P (m)	R (m)	Q (m3/s)	V (m/s)	Q dis (m3/s)	Q > Qdis	V < 4.5m/s	ΔQ	% Borde libre
A1	0+214.82	6.39	0.051	0.787	0.065	0.151	2.930	0.042	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.109	72.2
A2	0+688.94	6.86	0.051	0.787	0.065	0.156	3.036	0.111	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.045	28.7
A3	0+788.95	6.86	0.051	0.787	0.065	0.156	3.036	0.023	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.133	85.0
A4	0+954.27	6.88	0.051	0.787	0.065	0.156	3.040	0.039	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.118	75.2
A5	1+066.69	5.53	0.051	0.787	0.065	0.140	2.726	0.026	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.114	81.2
A6	1+264.24	5.53	0.051	0.787	0.065	0.140	2.726	0.046	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.094	66.9
A7	1+536.07	2.86	0.051	0.787	0.065	0.101	1.960	0.086	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.015	14.9
A8	1+629.89	1.76	0.051	0.787	0.065	0.079	1.538	0.061	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.018	23.2
A9	1+888.55	4.2	0.051	0.787	0.065	0.122	2.375	0.088	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.034	28.0
A10	2+263.15	4.2	0.051	0.787	0.065	0.122	2.375	0.079	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.043	35.3
A11	2+685.77	2.99	0.051	0.787	0.065	0.103	2.004	0.089	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.014	13.8
A12	2+978.65	7.5	0.051	0.787	0.065	0.163	3.174	0.074	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.089	54.6
A13	3+294.75	7.2	0.051	0.787	0.065	0.160	3.110	0.069	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.091	56.6
A14	3+590.41	7.2	0.051	0.787	0.065	0.160	3.110	0.061	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.099	61.9
A15	4+028.73	3.02	0.051	0.787	0.065	0.104	2.014	0.042	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.062	59.5
A16	4+351.32	1.83	0.051	0.787	0.065	0.081	1.568	0.076	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.005	6.1
A17	4+679.88	2.17	0.051	0.787	0.065	0.088	1.707	0.077	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.011	12.2
A18	5+005.85	7.18	0.051	0.787	0.065	0.160	3.106	0.076	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.083	52.1
A19	5+257.27	7.18	0.051	0.787	0.065	0.160	3.106	0.059	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.101	63.1
A20	5+380.54	3.84	0.051	0.787	0.065	0.117	2.271	0.029	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.088	75.2
A21	5+702.24	8.49	0.051	0.787	0.065	0.174	3.377	0.075	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.098	56.5
A22	6+036.68	6.62	0.051	0.787	0.065	0.153	2.982	0.078	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.075	48.8
A23	6+307.94	6.62	0.051	0.787	0.065	0.153	2.982	0.064	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.090	58.5
A24	6+626.12	8.56	0.051	0.787	0.065	0.174	3.391	0.075	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.100	57.2
A25	6+678.23	8.56	0.051	0.787	0.065	0.174	3.391	0.012	Sección adecuada	Velocidad adecuada	0.162	93.0

Tabla 4 Diseño hidráulico de cunetas.

4.1.2.1.5 PLANOS CON DETALLES CONSTRUCTIVOS.

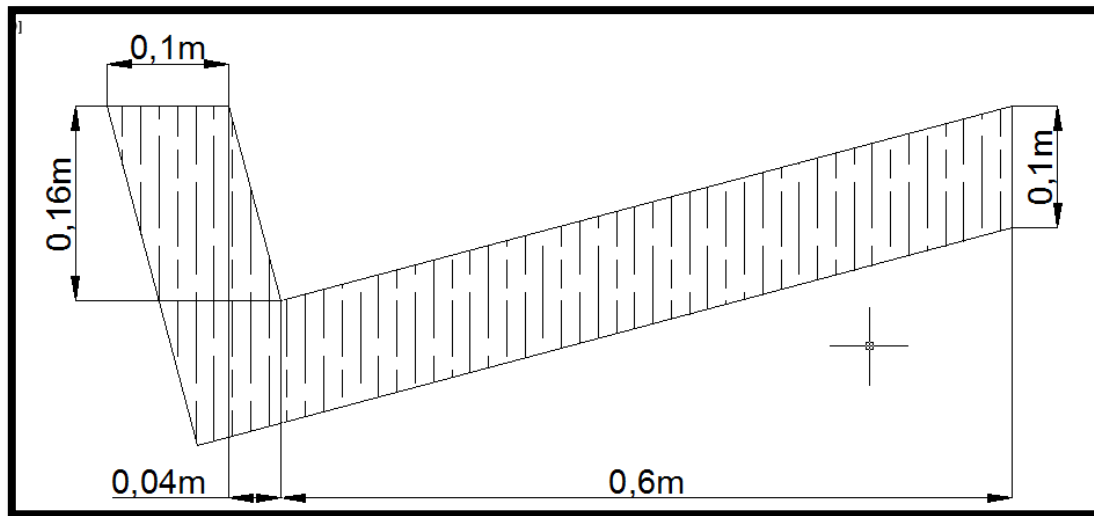


Figura 8 Sección tipo (Cuneta de diseño).



4.1.2.2 SUBDRENAJE.

4.1.2.2.1 DEFINICION Y CONCEPTOS BASICOS.

Las aguas amenazan en general la vida útil de las obras civiles, principalmente la de las vías terrestres, afectándolas de diversas maneras; procedentes de las lluvias, se infiltran o discurren por la superficie del terreno. Las aguas que superficialmente erosionan cortes y terraplenes, y corren hacia los bajos topográficos, almacenándose si no son oportunamente conducidas por una alcantarilla; al almacenarse se infiltran en el terreno produciendo una saturación que reduce su resistencia al esfuerzo cortante y genera asentamientos, fuerzas de filtración que amenazan su estabilidad y peligro de tubificación. Las aguas infiltradas tienden a brotar en los cortes de las carreteras o en las coronas de las mismas, amenazando la estabilidad de los cortes y el buen comportamiento de los pavimentos que cubren las coronas.

Para realizar un adecuado sistema de subdrenaje se requiere obtener buena información sobre la disposición y naturaleza de los materiales involucrados. Esta puede provenir de inspección de campo, de estudios geológicos o de sondeos con muestreo, seguido de pruebas de laboratorio.

Los métodos de subdrenaje en cortes tienden a controlar el flujo del agua en el talud, evitan que fluya hacia la superficie y así restringir los cambios volumétricos del material y orientar favorablemente las corrientes de filtración.

En el caso de terraplenes, mediante el subdrenaje se logran disminuir los esfuerzos neutrales en el agua que llena los vacíos del suelo de la ladera, se aumentan los esfuerzos efectivos actuantes y se mejora la estabilidad del terraplén.

Los sistemas de drenaje sub-superficial deben cumplir las siguientes funciones básicas para minimizar los impactos del agua interna en los proyectos viales.

- Abatir el nivel freático en el área de las fundaciones de los terraplenes y de las estructuras viales.
- Interceptar las filtraciones subterráneas para impedir afloramientos de agua en el pavimento.
- Drenar el agua superficial que se infiltre en el pavimento y en las estructuras de contención.
- Recolectar las descargas de los diferentes sistemas de drenajes subterráneos.

4.1.2.2.1.1 TIPOS Y USOS DEL SUBDRENAJE EN CARRETERAS.

La manera más común de identificar los elementos del sistema de subdrenaje es en términos de su localización y su geometría. Las clasificaciones familiares de este tipo incluyen: drenes longitudinales, drenes transversales, drenes horizontales, capas permeables, sistemas de pozos y otros más elaborados.

El presente documento contempla el estudio o análisis de criterios y especificaciones únicamente de drenes longitudinales.

Drenes longitudinales

Como lo indica su nombre, un dren longitudinal se coloca en una dirección esencialmente paralela al eje de la carretera tanto horizontal como verticalmente. Está constituido por una zanja de cierta profundidad, un filtro protector de alguna clase y, eventualmente, un tubo colector. El grado de sofisticación empleado en el diseño de estos drenes dependerá de la fuente de agua que deba ser drenada, de la importancia de la vía, de la manera como se espera que ellos funcionen. Cuando se instalan para contribuir específicamente en la evacuación del agua que se infiltra en el pavimento, se llaman drenes laterales de base o drenes colectores longitudinales. Cuando se usan para cortar la filtración en taludes o abatir el nivel freático se conocen como drenes interceptores longitudinales o, simplemente, como drenes longitudinales.

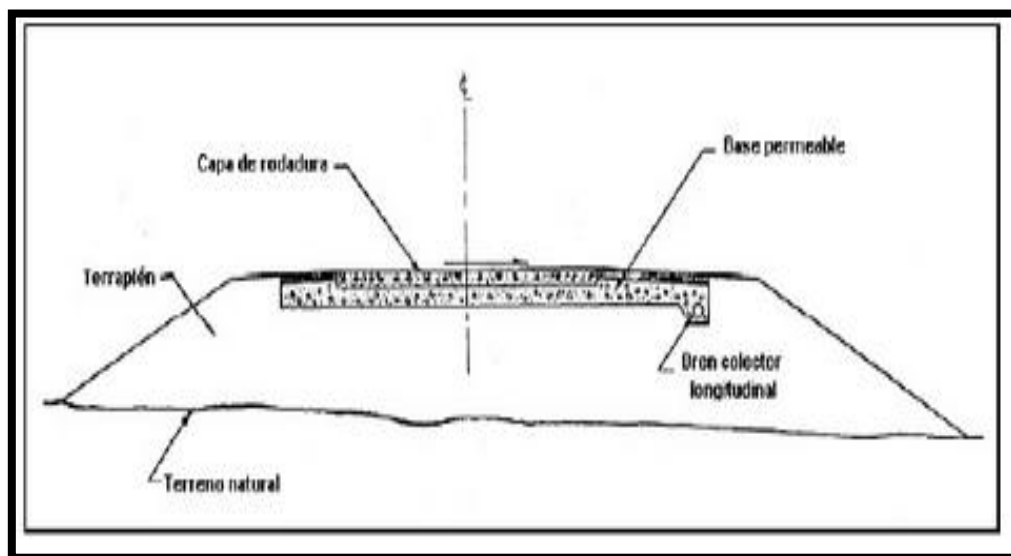


Figura 9 Esquema de dren colector longitudinal (Control de aguas superficiales y subterráneas).

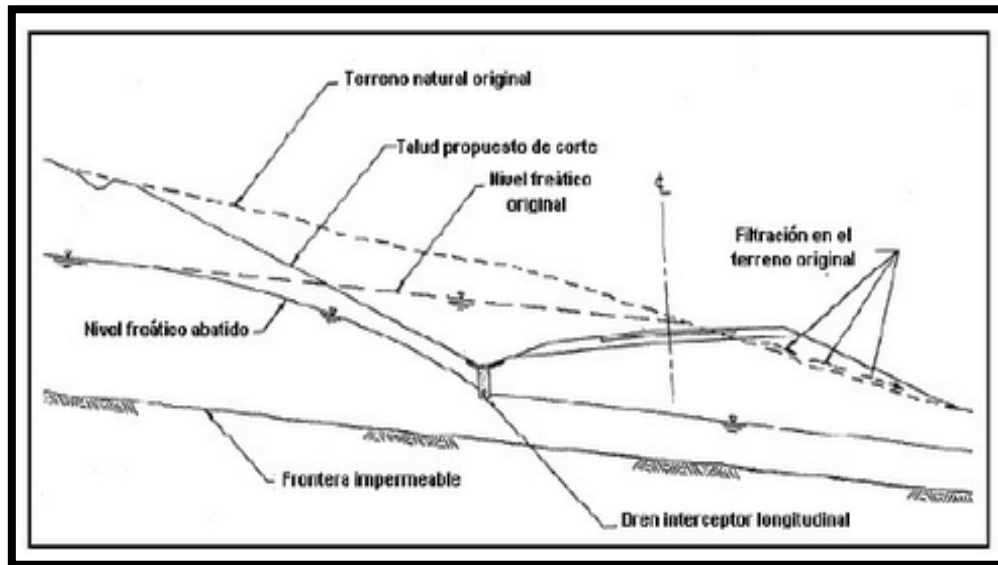


Figura 10 Esquema de un dren interceptor usado para cortar la infiltración y abatir el nivel freático (Control de aguas superficiales y subterráneas).

Algunas veces se pueden combinar eficientemente sistemas de drenes longitudinales de diferentes tipos, donde se aprecia una instalación múltiple de drenes en una sección peraltada de una vía de doble calzada que atraviesa una zona de corte en cajón. Con el fin de interceptar el flujo y abatir el nivel freático bajo el corte de la izquierda, se instala un par de drenes longitudinales relativamente profundos. Como se puede observar en la figura 11, el dren colocado bajo la cuneta de la calzada izquierda sirve también para drenar cualquier agua de infiltración que pueda ingresar en la estructura del pavimento de esa calzada. El dren colector longitudinal colocado al lado izquierdo de la calzada derecha capta exclusivamente las aguas infiltradas en dicha calzada.

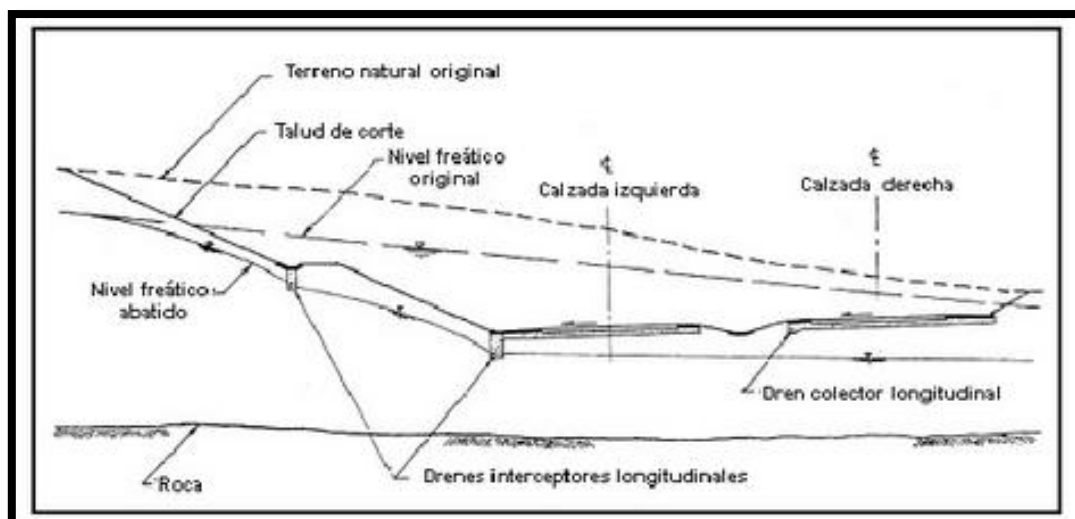


Figura 11 Empleo simultáneo de drenes longitudinales (Control de aguas superficiales y subterráneas).

Cuando la sección vial es muy ancha y el nivel freático muy alto, puede ser necesario colocar un sistema múltiple de drenes longitudinales con el fin de evitar que el flujo de agua subterránea sature la subrasante y el pavimento, al menos en parte de su ancho.

Es posible encontrar geometrías viales aún más complicadas que exigen configuraciones de subdrenaje más elaboradas, en especial en vecindades de las intersecciones.

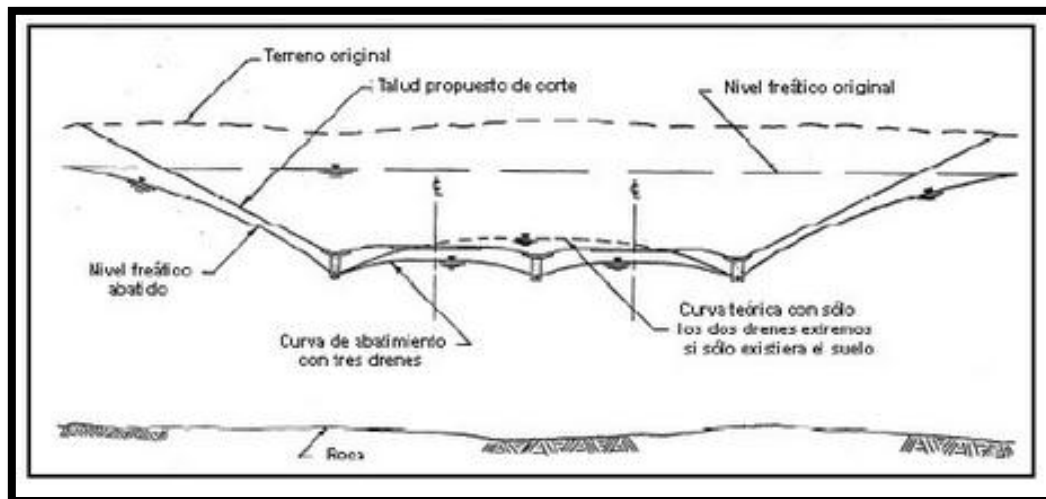


Figura 12 Instalación múltiple para abatimiento del nivel freático (Control de aguas superficiales y subterráneas).

Capas permeables en el pavimento

Generalmente el término se aplica a una capa de alta permeabilidad cuyo ancho y longitud (en la dirección del flujo) son mucho mayores que su espesor. Apropiadamente diseñadas, pueden ser efectivas para controlar tanto el agua de infiltración como la del nivel freático.

La capa permeable se puede colocar como parte integral de un pavimento para remover agua de infiltración, o debajo de él para remover agua subterránea del nivel freático o de fuentes subterráneas. Aunque es usual el empleo de materiales relativamente permeables en la construcción de las bases y subbases, estas capas no funcionan como mantos permeables a menos que hayan sido diseñadas y construidas considerando tal función.

Otras capas permeables

Las capas permeables también pueden ser usadas para controlar efectivamente el flujo de agua subterránea hacia los taludes de corte y bajo rellenos en laderas. En el talud de corte se propone el uso de una capa permeable en combinación con un dren colector longitudinal, buscando mejorar la estabilidad del talud del corte al impedir el desarrollo de una superficie de

filtración y al ejercer simultáneamente una acción soportante. Las capas permeables con este uso se conocen, también, como pantallas de drenaje.

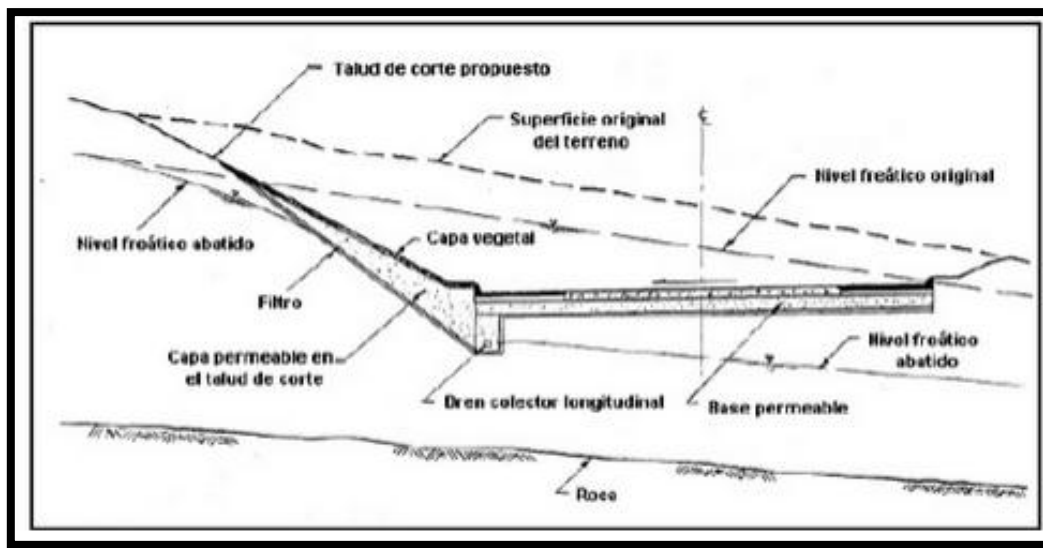


Figura 13 Capa permeable en un talud, drenada por un colector longitudinal (Control de aguas superficiales y subterráneas).

En adición a los ya descritos, existen otros sistemas más complejos para el control de aguas subterráneas y la estabilización de taludes y laderas, como las trincheras estabilizadoras, las cortinas impermeables, las galerías de drenaje, etc., cuyo uso en la solución de los problemas viales requiere análisis geotécnicos muy específicos y su uso ha sido muy limitado en la red vial.

4.1.2.2.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SUBDREN.

Las zanjas drenantes pueden ser excavadas a mano o con retroexcavadora, rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte del agua. Existen de diferentes formas entre estas:

- Con material de filtro y tubo colector
- Con material grueso permeable sin tubo (filtro francés)
- Con geotextil como filtro, material grueso y tubo colector.
- Con geotextil, material grueso y sin tubo.
- Tubo colector con capa gruesa de geotextil a su alrededor.
- Dren sintético con geomalla, geotextil y tubo colector.

El tipo de dren interceptor a emplear dependerá de:

- Disponibilidad de materiales en la región y costos.
- Necesidad de captación y caudal del dren.

4.1.2.2.3 PARAMETROS Y NORMAS DE DISEÑO.

4.1.2.2.3.1 MATERIAL DE FILTRO.

Es conveniente tener en cuenta que los drenes tratan de taponarse por transporte y deposición de las partículas más finas del suelo. Para evitar este fenómeno se debe colocar un filtro que debe cumplir los siguientes objetivos:

- Impedir el paso de las partículas finas del suelo a proteger.
- Permitir la filtración rápida del agua.

Existen dos tipos generales de filtro:

- Material granular natural filtrante.
- Filtro de mantos sintéticos o geotextiles.

Se requiere escoger muy cuidadosamente el material de filtro y/o el tipo y calidad del geotextil a emplear.

Para material de filtro se deben cumplir ciertos requisitos de granulometría los cuales son universalmente conocidos.

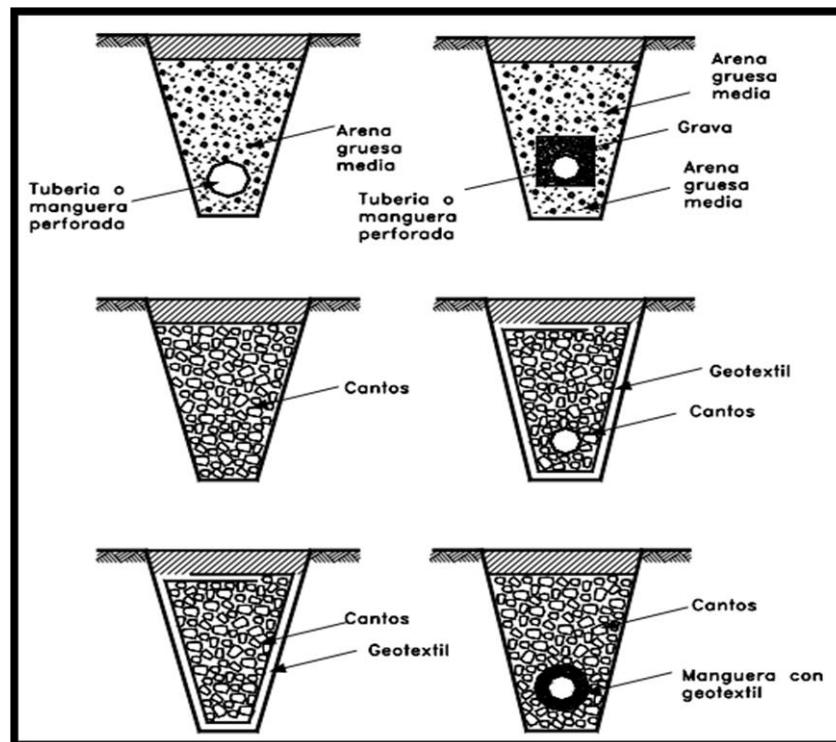


Figura 14 Sistemas de subdren de zanja (Control de aguas superficiales y subterráneas).



Los principales parámetros a tomar en cuenta para el diseño de un subdren son:

a.- Criterio de Filtración o protección contra la erosión interna

El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna al mismo tiempo permitir el paso del agua. Existen decenas de relaciones entre los diversos parámetros granulométricos del suelo y del filtro que se deben cumplir para garantizar su funcionamiento óptimo. Se presentan los más utilizados.

En suelos granulares y limosos se establecen las siguientes relaciones, en las cuales el subíndice F representa el filtro, y la S representa el suelo natural o suelo alrededor del filtro: (*Terzaghi 1948*)

- D_{15} es el diámetro de partícula para el 15% de pasantes en la curva granulométrica.
- D_{85} es el diámetro de partícula para el 85% de pasantes en la curva granulométrica.

La primera relación de granulometría de un material de filtro propuesta es:

- D_{15F}/D_{85S} Relación debe ser mayor a 4 y menor que 9.

De acuerdo con el Geotechnical Engineering Office de Hong Kong se deben cumplir adicionalmente las siguientes condiciones:

- $D_{15F}/D_{15S} < 40$
- $D_{50F}/D_{50S} < 25$

Es también recomendable que el material de filtro no posea más de un **5% de material que pase la malla 200**, para evitar la migración de finos del filtro hacia las tuberías de drenaje. Adicionalmente, se deben evitar los filtros cuya gradación tenga vacíos de algunos tamaños de granos, o sea, los materiales con curvas granulométricas que presenten gradas.

b.- Criterio de permeabilidad

El criterio más utilizado para garantizar un drenaje fácil del agua a través del filtro es el propuesto por (*Terzaghi 1948*)

- $D_{15F}/D_{15S} > 4$

Adicionalmente se deben cumplir los límites.

- $D_{60F}/D_{10F} < 20$ (coeficiente de uniformidad) y el tamaño máximo de partícula no debe ser mayor de 75 milímetros.

En ocasiones es difícil encontrar un material natural que cumpla las condiciones de material de filtro para un determinado suelo y se requiere fabricarlo mediante tamizado y/o mezcla de materiales.



En varios países se recomienda un filtro general básico para todo tipo de suelos para subdrenes de carreteras de acuerdo a la tabla. Este tipo de filtro aunque cumple especificaciones y es usado en varios países para una gran gama de suelos, en algunos casos podría presentar problemas de erosión interna o taponamiento. (Terzaghi 1948).

Malla tamiz ASTM	Porcentaje que pasa en peso
1 1/2"	100
1"	80 a 100
3/4"	85 a 100
3/8"	40 a 80
No.4	20 a 55
No.10	0 a 35
No.20	0 a 20
No.40	0 a 12
No.100	0 a 7
No.200	0 a 5

Tabla 5 Granulometría de materiales para filtro usado en varios países. (Terzaghi 1948).

c.- Tamaño de orificios de la tubería colectora

En la mayoría de los subdrenes con material de filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en la parte baja de la zanja embebido en el material filtrante. En cuanto al tamaño de los orificios del tubo recolector, **el U. S Army Corps of Engineers (1955)** recomienda la siguiente relación, entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio:

- Para huecos circulares:

$$\frac{D_{85_F}}{\text{Diametro}} > 1$$

- Para huecos con ranuras

$$\frac{D_{85_F}}{\text{Ancho}} > 1.2$$

El criterio utilizado por **U.S. Bureau of Reclamation (1973)** es el siguiente:

$$\frac{D85_F(\text{junto al orificio})}{\text{Ancho}} > 2$$

Filtros de Geotextil.

Los geotextiles son telas permeables, filtrantes, construidas con fibras sintéticas, especialmente polipropileno, poliéster, nylon y polietileno. Los geotextiles generalmente, se clasifican en tejidos y no tejidos. Los tejidos a su vez se diferencian de acuerdo al sistema de tejido (Figura 15).

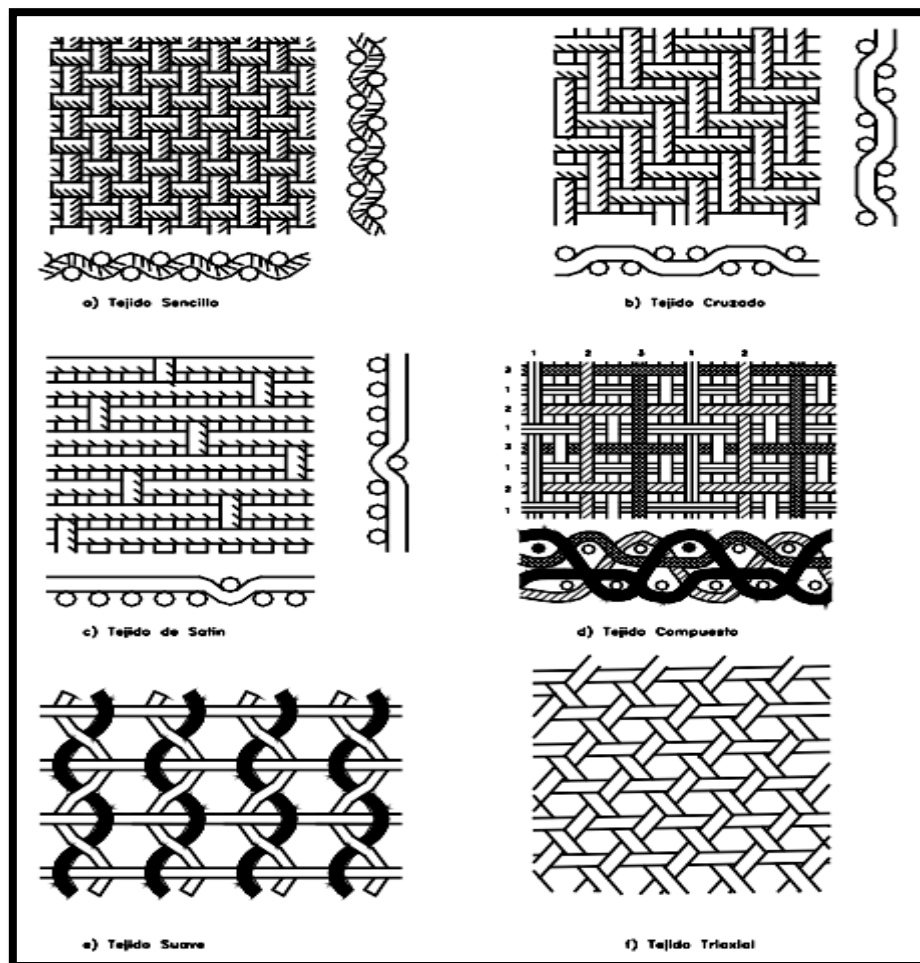


Figura 15 Tipos de tejidos en geotextiles (Control de aguas superficiales y subterráneas).

Los geotextiles más utilizados para filtro son los no tejidos, entre los cuales se deben diferenciar los perforados con alfileres, los pegados al calor y los pegados con resinas, aunque es común encontrar mezclas de los tres procesos de manera combinada.

La durabilidad de los geotextiles está en función de las fibras poliméricas y las resinas a los ataques ambientales. Los principales problemas de las telas filtrantes corresponden a su baja resistencia a la exposición a los rayos solares, los cuales las descomponen, a las altas temperaturas y a ciertos químicos.



Desde el punto de vista de filtración se utilizan los siguientes criterios de acuerdo al Federal Highway Association de los Estados Unidos:

a.- Criterio de retención del suelo

$$O_{95} < B \times D_{85}$$

$$\begin{aligned} B &= 1 & \text{Para } Cu \leq 2 \text{ o } > 8 \\ B &= 0.5 Cu & \text{Para } 2 < Cu < 4 \\ B &= 8/Cu & \text{Para } 4 < Cu < 8 \end{aligned}$$

Dónde:

O_{95} = Tamaño de la abertura medida del geotextil a la cual el 95% del peso de partículas esféricas de vidrio es retenido.
 D_{85} = Diámetro de tamiz en milímetros que permite el paso del 85% en peso del suelo.
 $Cu = D_{60} / D_{10}$ Coeficiente de uniformidad del suelo.

Geotextil	Resistencia a tensión (KN/m)	Elongación máxima (%)	AOS (mm)	Caudal de flujo (l/m ² /seg)	Peso unitario (g/m ³)
Tejidos					
Monofilamento	20 -- 80	5 -- 35	0.07 -- 2.5	25 -- 2000	150 -- 300
Hilo	40 -- 800	5 -- 30	0.2 -- 80	20 -- 80	150 -- 1300
Cinta	8 -- 90	15 -- 20	0.05 -- .1	5 -- 15	100 -- 250
No tejidos					
Punzonado	7 -- 90	50 -- 80	0.02 -- 0.15	25 -- 200	150 -- 2000
Fundido	3 -- 25	20 -- 60	0.02 -- 0.35	25 -- 150	700 -- 350
Con Resina	4 -- 30	30 -- 50	0.01 -- 0.35	20 -- 100	130 -- 800

Tabla 6 Rango de valores de algunas propiedades representativa de algunos geotextiles utilizados para filtros (Lawson 1982).



Estimación del caudal de diseño.

Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal final, los cuales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

- El caudal generado por la infiltración de agua lluvia: el agua lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de ésta inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas de pavimento rígido como flexible, no son impermeables.
- El caudal generado por el abatimiento del nivel de agua subterránea. En sitios donde se encuentre nivel freático a una altura tal, que afecte la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por excesos de agua.
- El caudal proveniente de escorrentía superficial. Este caudal puede ser controlado con métodos de captación, de manera tal, que se minimice la entrada a la estructura del pavimento. En tramos en donde se considere el caudal de agua infiltrada proveniente de escorrentía como un caudal de aporte, se debe estimar teniendo en cuentas los métodos hidrológicos.

Incluiremos el método para estimar los dos primeros caudales, que en la mayoría de los casos van a estar presentes en el diseño de los subdrenes para vías.

Caudal por infiltración (Lawson 1982)

$$q_{infiltración} = I_R \times B \times L \times F_i \times F_R$$

Dónde:

I_R : Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto. Dato que se puede extraer de las curvas anexas a éste documento, las cuales son las de intensidad–duración – frecuencia para la zona más cercana al proyecto.

B : Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenes transversales, B es la distancia entre subdrenes.

L : Longitud del tramo de drenaje.

F_i : Factor de infiltración.

F_R : Factor de retención de la capa granular, refleja el hecho que la capa granular, dada su permeabilidad, entrega lentamente el agua al subdren (0.25-0.5).



Tipo de carpeta	Fi
Carpeta asfáltica muy bien conservadas	0.3
Carpeta asfáltica normal	0.4
Carpeta asfáltica probablemente conservadas	0.5
Carpeta de concreto de cemento Portland	0.67

*Tabla 7 Factor de infiltración (Lawson 1982).***Caudal de abatimiento del nivel freático (Lawson 1982).**

$$Q_{NF} = k \times i \times A_0$$

$$A_0 = (N_d - N_f)L$$

$$i = \frac{N_d - N_f}{B}$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente

i: Gradiente Hidráulico

N_d: Cota inferior del subdren

N_f: Cota superior del nivel freático

A₀: Área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático

B: Semibanca de la vía.

L: Longitud del tramo de drenaje

El caudal total para el subdren será:

$$Q_{TOTAL} = Q_{infiltracion} + Q_{Nf}$$

Se puede estimar el diámetro de tubo que puede transportar el caudal máximo a través del siguiente nomograma Figura 16 con base en la ecuación de Prandtl Colebrook, en donde conociendo la pendiente y el caudal de diseño se puede establecer el diámetro de la tubería a usar.

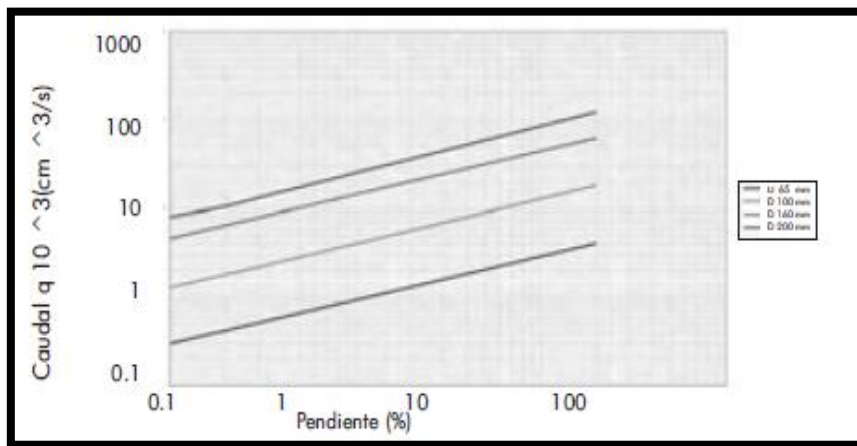


Figura 16 Nomograma Caudal – Pendiente (Fuente Lawson 1982).

4.1.2.2.4 UBICACIÓN DE LOS SUBDRENES EN LOS PLANOS

Luego de visitar el lugar donde se emplazara el diseño se constató que existe en algunos tramos de vía, la presencia de una elevada humedad, principalmente por la presencia de lagunas o pozos cerca de la vía lo que implica un elevado nivel freático (Fotografía 1 y 2), por lo que es necesario la implementación de subdrenes en dichos tramos de vía.





Foto 1. Laguna junto a la vía

Foto 2. Presencia de humedad

4.1.3 DRENAJE TRANSVERSAL.

Los sistemas de drenaje transversal están constituidos por elementos que transportan el agua y cruzan el eje de la carretera. Por lo general, el cruce se realiza de manera perpendicular al eje y transportan el aporte de la cuenca que se encuentra aguas arriba de la vía en dirección aguas abajo.

Para obtener un buen diseño el desagüe o drenaje transversal se debe tratar de cumplir ciertos parámetros importantes como, no desviar el cauce natural de flujo, evitar pendientes pronunciadas ya que esto conllevaría a tener grandes velocidades de flujo con lo que se produciría erosión de las obras hidráulicas en nuestro caso las alcantarillas.

4.1.3.1 ALCANTARILLAS.

4.1.3.1.1 DEFINICION Y CONCEPTOS BASICOS.

Las alcantarillas son conductos, de sección diversa, que se instalan o construyen transversales y por debajo del nivel de subrasante de una carretera, con el objeto de conducir, hacia cauces naturales, el agua de lluvia proveniente de pequeñas cuencas hidrográficas, arroyos o esteros, canales de riego, cunetas y/o del escurrimiento superficial de la carretera.

La finalidad de este tipo de drenaje es permitir el paso del agua a través de la sección transversal de la vía, evitando un cambio considerable de la circulación del agua por el cauce natural.

Elementos de las alcantarillas

Estructura de entrada:



Se refiere a todas las obras construidas con el objetivo de conducir el flujo hacia la tubería y estabilizar el terraplén de la vía y/o el terreno natural.

Cajas colectoras:

Captan las aguas provenientes de las diferentes estructuras de drenaje longitudinal permitiendo su cruce bajo la vía, hacia cauces naturales u otros sistemas de desagüe. Dichas estructuras confinan la vía y dan estabilidad al extremo de la tubería.

Cabezal:

Son muros que retienen el material del terraplén, protegiéndolo de la erosión y acortando la longitud de la alcantarilla, además de dar estabilidad al extremo de la tubería al actuar como contrapeso ante posibles fuerzas de subpresión, guiar la corriente, permitir un mayor ancho de la vía y por ende, ofrecer mayor seguridad para el conductor.

Para garantizar un buen funcionamiento de los cabezales y garantizar una mayor vida útil de los mismos, se recomienda seguir las siguientes consideraciones técnicas.

- Las dimensiones de los cabezales deben ser tales que impidan el deslizamiento de los taludes inmediatos hacia el canal de la corriente.
- La excavación requerida, para cabezales, debe quedar prevista durante la colocación de alcantarillas.
- Los cabezales pueden ser contruidos de concreto reforzado, de mampostería o de concreto ciclópeo, entre otros.
- La construcción de los cabezales se realizara inmediatamente después de la colocación de las alcantarillas, con el fin de evitar el desacomodo de los tubos.
- No se recomienda construir cabezales en secciones de relleno, en caso de ser necesario es recomendable revestir y escalar el canal de salida.

La siguiente tabla indica las diferentes dimensiones que pueden tener los cabezales para alcantarillas circulares de diferentes diámetros.

		Diámetro de Tubería (m)							
Dimensiones (m)	ϕ	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.4
	A	0.35	0.38	0.38	0.4	0.42	0.45	0.48	0.5
	B	0.75	0.85	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4
	C	1	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	D	1.15	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2	2.2
	F	0.25	0.28	0.28	0.3	0.32	0.33	0.35	0.38
	H	1.8	2	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	3
	L	5	5.6	6	6.3	7.1	8	8.6	9.4

Tabla 8 Dimensionamiento de diferentes cabezales. (MTOP 2003).

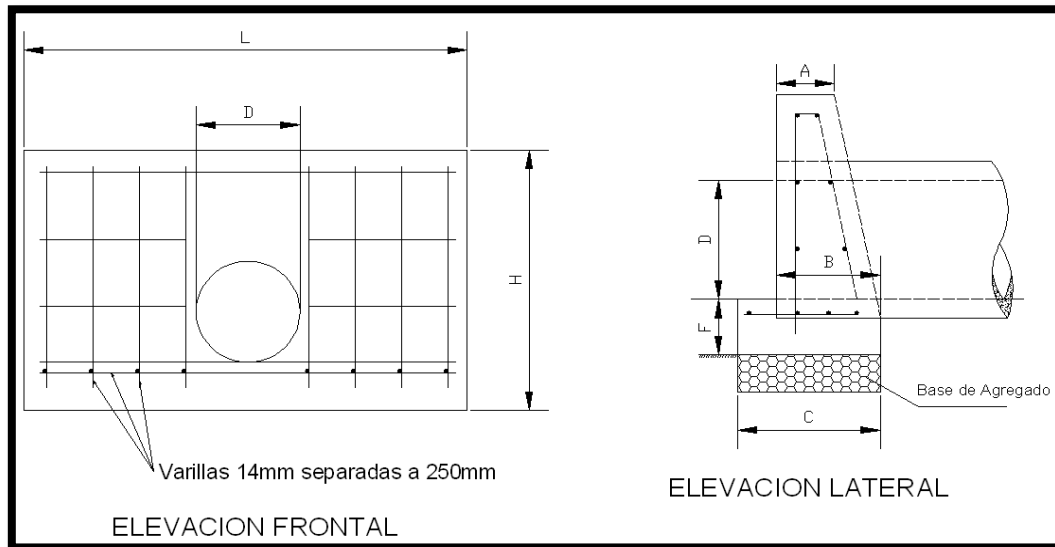


Figura 17 Esquema de Cabezal (MTOP 2003).

Alas:

Las alas ayudan a guiar el flujo hacia la alcantarilla, mejorando su desempeño hidráulico. Su orientación y su longitud se proyectan para asegurar la entrada del flujo al conducto. Atendiendo al criterio hidráulico, un ángulo de 45° es ideal para las alas, pero se podrá modificar para las condiciones específicas en cada caso.

Tubería:

Pueden ser de concreto o laminas metálicas. Tiene como fin garantizar la conducción del flujo de un lado al otro de la vía, evitando infiltraciones que puedan afectar las capas de las estructuras del pavimento.

Los materiales que se utilizarán en la construcción de las alcantarillas serán de hormigón armado, lámina de acero corrugado plástico, arcilla vítrea, lámina de aluminio corrugado y lámina de acero inoxidable; aunque las alcantarillas metálicas son de fácil instalación, en zonas de alto potencial corrosivo, se debe preferir el uso de alcantarillas de hormigón.

Estructura de salida:

Son transiciones entre la alcantarilla y el cuerpo receptor y, por lo tanto, sus criterios de diseño también se basan en no alterar drásticamente los patrones de flujo del cuerpo receptor y evitar problemas de socavación.

Descole o Vertedero:

Estructura diseñada para reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua en la salida de obras de drenaje y así asegurar la entrega hacia los canales naturales u otros no erosionables.



4.1.3.1.2 TIPOS DE ALCANTARILLAS.

De acuerdo con la forma de la sección transversal del ducto, las alcantarillas pueden ser: circulares, rectangulares, de arco, bóvedas o de ductos múltiples

La densidad de las alcantarillas en un proyecto vial influye directamente en los costos de construcción y de mantenimiento, por ello es importante considerar factores como, adecuada elección de su ubicación, alineamiento y pendiente a fin de garantizar un flujo libre de agua.

Consideraciones de Diseño

Localización:

Las alcantarillas deberán instalarse o construirse por lo general y en lo posible, siguiendo la alineación, pendiente y cotas de nivel del cauce de la corriente, facilitando de esta manera que el agua circule libremente sin interrupciones y reduciendo los riesgos de erosión.

Alineación:

Se debe colocar perpendicular a la carretera. La alineación esviada requiere de una alcantarilla más larga, que se justifica por el mejoramiento en las condiciones hidráulicas y por la seguridad de la carretera.

En la proyección e instalación de alcantarillas el aspecto técnico debe prevalecer sobre el aspecto económico es decir que no se pueden pasar por alto algunas características hidráulicas

Pendiente:

La pendiente ideal para una alcantarilla es aquella que no produzca sedimentación, ni velocidades excesivas y erosión, y que, a su vez, permita la menor longitud de la estructura.

Para pendientes bajas la rugosidad interna de la alcantarilla es un factor que debe tenerse en cuenta. Para evitar la sedimentación, se recomienda que la pendiente mínima sea del 0.5% y la máxima del 3% (MOPT, 2003).

Longitud de la alcantarilla

La longitud necesaria de una alcantarilla dependerá del ancho de la corona de la carretera, de la altura del terraplén, de la pendiente del talud, de la alineación y pendiente de la alcantarilla y del tipo de protección que se utilice en la entrada y salida de la estructura. La alcantarilla deberá tener una longitud suficiente para que sus extremos (entrada y salida) no queden obstruidos con sedimentos ni sean cubiertos por el talud del terraplén.

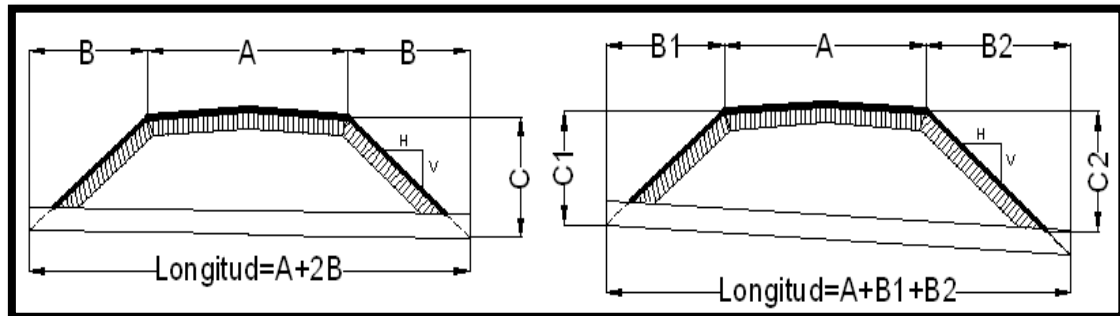


Figura 18 Longitud de alcantarillas (Fuente: MTOP, 2003).

Velocidad de la corriente.

Las alcantarillas por sus características, generalmente, incrementan la velocidad del agua con respecto a la de la corriente natural, aunque lo ideal sería que la velocidad en el cauce aguas abajo fuese la misma que tenía antes de construir la alcantarilla. Las altas velocidades en la salida son las más peligrosas y la erosión potencial en ese punto es un aspecto que deberá tenerse en cuenta.

Para establecer la necesidad de protección contra la erosión, la velocidad a la entrada y/o salida deben compararse con la máxima velocidad permisible (no erosiva) del material del cauce, inmediatamente aguas arriba y/o aguas abajo de la estructura. Cuando la velocidad de salida resulte muy alta o el material del cauce es particularmente susceptible a la erosión, podrían requerirse dispositivos para disipar la energía del escurrimiento de salida.

Carga admisible a la entrada.

A fin de evitar que el agua sobrepase la corona de la carretera, la altura permisible del remanso en la entrada de la alcantarilla se establecerá como el valor menor que resulte de considerar los siguientes criterios: a) disponer de un bordo libre mínimo de 1,00 m, medido desde el nivel de la rasante y b) que no será mayor a 1,2 veces la altura del ducto.

Selección del tipo.



En la selección del tipo de alcantarilla intervienen factores como:

- Funcionalidad hidráulica y estructural
- Altura del terraplén
- Forma de la sección del cruce
- Características del subsuelo
- Aspecto económico
- Materiales disponibles en la zona

4.1.3.1.3 PARAMETROS DE DISEÑO.

Para el diseño de un drenaje transversal como las alcantarillas se requiere información base para su dimensionamiento como:

Topografía

El levantamiento topográfico proporciona los datos suficientes para la localización y ubicación de la alcantarilla, las características físicas significativas a la zona adyacente al sitio de cruce, especialmente, aquellas que podrían resultar afectadas por la instalación u operación de la alcantarilla.

El levantamiento deberá destacar el uso del suelo, el tipo y densidad de vegetación existente y cualquier obstáculo físico que pudiera alterar las características de escurrimiento.

Cartografía básica para determinar el área de drenaje

En nuestro medio podemos contar con restituciones cartográficas a escalas 1:25000 y 1:50000 sobre estas se trazan las diferentes áreas que influyen en el drenaje de la carretera o proyecto, así como permite definir los puntos más favorables para el encausamiento de los drenajes interceptados.

Cuenca de drenaje

La cuenca de drenaje de una corriente es el área que contribuye al escurrimiento y proporciona parte o todo el flujo del curso tributario. El área drenante es, por tanto un factor importante para la estimación de la avenida de diseño y debería ser cuidadosamente definida por medio de:



- a) Fotografías aéreas
- b) Levantamiento topográfico
- c) Cartas topográficas
- d) Observaciones en el terreno

El escurrimiento en una cuenca dependerá de diversos factores, tales como el área, pendiente, longitud y características del cauce principal, elevación de la cuenca y red de drenaje.

Para el diseño general de alcantarillas se tiene en cuenta 2 aspectos importantes

- Análisis Hidrológico
- Análisis Hidráulico de Alcantarillas

4.1.3.1.3.1 ESTUDIO O ANALISIS HIDROLOGICOS.

El presente ítem describe los factores que influyen en la obtención de diseños adecuados que garanticen el buen funcionamiento del sistema de drenaje proyectado, acorde a las exigencias hidrológicas de la zona de estudio

La hidrología es la ciencia que estudia el agua en general, sus propiedades mecánicas físicas y químicas, así como las formas y regímenes que esta presenta en la naturaleza.

El análisis hidrológico y sus principales aplicaciones en Ingeniería de Carreteras son las siguientes:

- Estimar el caudal máximo de agua (caudal de referencia) que deberá canalizar superficialmente la carretera, empleando para ello métodos de cálculo semiempíricos basados en la historia pluviométrica de la zona y las características hídricas del terreno.
- Dimensionar adecuadamente las estructuras de paso que restringen o dificultan el paso del agua por sus cauces habituales.
- Analizar la presencia y el régimen de circulación de las aguas subterráneas y disponer los medios para evitar su penetración en el firme.



4.1.3.1.3.1.1 ANALISIS DE PRECIPITACIONES.

4.1.3.1.3.1.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS HIDROLÓGICOS.

4.1.3.1.3.1.1.1.1 DISTRIBUCION DE GUMBEL.

Es uno de los métodos más eficaces porque al parecer ajusta bastante bien a los valores máximos de la precipitación en diferentes intervalos de tiempo después de muchos años, y también brinda utilidad en los problemas prácticos de ingeniería de dimensionamiento de redes de drenaje y diversas obras hidráulicas.

En base a los datos históricos de precipitación obtenidos de la estación mencionada (estación de SUSCALPAMBA) para la aplicación de la distribución de Gumbel es necesario que los valores que no fueron detectados sean eliminados para que el método sea efectivo.

Para el análisis de datos históricos es necesario conocer algunos conceptos fundamentales que a continuación se exponen.

Análisis de lluvia.

Para la estimación de los caudales máximos instantáneos, se utiliza un modelo basado en el comportamiento de la precipitación. Se requiere realizar un análisis sistemático de lluvia, tomando en consideración los parámetros siguientes: intensidad de lluvia, duración y período del evento estudiado.

Intensidad de lluvia.

La intensidad de lluvia es la tasa promedio de lluvia en milímetros por minutos para una cuenca o sub cuenca de drenaje particular. La intensidad se selecciona con base en la duración de lluvia de diseño y el período de retorno. Se deben localizar las estaciones meteorológicas existentes en el área de influencia del proyecto y deben elegirse las estaciones de mayor influencia sobre el proyecto.

Este factor ayuda a definir el comportamiento del suelo ante la lluvia, es decir, su comportamiento hidrológico, ya que las características de la superficie, la pendiente, y el tipo de desarrollo en el área, ayudan a elegir un coeficiente para representar los efectos integrados de todos esos factores.

Precipitación.

Es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo. El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal de entrada a una cuenca.

$$I_p = \frac{p}{t}$$



Dónde:

I_p = Intensidad de precipitación (mm/h)

p = Precipitación (mm).

t = Tiempo (horas).

Para nuestro caso como nos interesan las precipitaciones como generadores de caudales excepcionales avenidas, comenzaremos por precipitaciones máximas diarias (el día más lluvioso de cada año). En cualquier caso, a partir de las medidas realizadas en una estación pluviométrica, se computan básicamente: (P diaria, P mensual, P anual). Para lo cual es necesario tener presente el concepto de año hidrológico.

Año Hidrológico.

El año hidrológico se establece para intentar reflejar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones sobre una determinada *cuenca hidrográfica*.

El comienzo del año hidrológico puede variar entre una región y otra, incluso dentro de un mismo país. Por ejemplo, en países del hemisferio norte con clima continental extremo, con veranos muy secos e inviernos lluviosos, el comienzo del año hidrológico suele darse en septiembre u octubre. En el hemisferio sur, al contrario, puede considerarse marzo o abril.

En España se considera que el año hidrológico comienza el 1 de octubre y termina el 30 de septiembre, aunque también se suele considerar el año Agrícola o Hidrometeorológico que comienza el 1 de septiembre y termina el 31 de agosto. (Fuente: Engenharia de recursos hídricos. Linsley & Franzini).

De todas las posibles tormentas nos debemos fijar únicamente en las extremas, en las más torrenciales, que son las que aportan lluvias de intensidad máxima. Por lo tanto las curvas de intensidad-duración se crean a partir de los datos de precipitación extrema, por lo que la intensidad correspondiente a una duración de tormenta determinada siempre es máxima.

Los datos sobre intensidad de precipitación son obtenidos de los registros pluviograficos denominados pluviogramas o diagramas de precipitación acumulada a lo largo del tiempo, correspondiendo a 24 horas de registros continuos y una altura equivalente a 10 mm de precipitación.

Para el análisis estadístico utilizamos valores de precipitaciones correspondientes a la estación meteorológica que influye en el proyecto (Tabla 1).

Muestra	Suscalpamba
1	18.0
2	32.5
3	34.2
4	35.5



5	36.0
6	38.3
7	41.0
8	41.4
9	41.6
10	43.7
11	44.3
12	44.8
13	45.0
14	45.5
15	46.4
16	49.8
17	52.2
18	52.8
19	53.0
20	55.2
21	55.9
22	60.0
23	60.0
24	64.7
25	65.4
26	104.4

Tabla 9 Datos históricos de precipitación máxima 24 horas (Estación Suscalpamba).

4.1.3.1.3.1.1.2 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMAS 24H.

Gumbel. Conocida como función de probabilidad de valor extremo tipo I cuando $K=1$ (Manual de drenaje para carreteras INVIAS)

$$x = \mu - \alpha \left[\ln \left(-\ln(F(x)) \right) \right]$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} s}{\pi}$$

$$\mu = \bar{x} - 0.5772 \alpha$$

Donde:

μ = Parámetro de ubicación moda.

α = Parámetro de escala.

s = Desviación estándar.

\bar{x} = Media aritmética.

Máximo	Max	104.4
Media Aritmética	\bar{x}	48.5



Desviación estándar	S	15.7
Parámetro de escala	A	12.2
Parámetro de ubicación	μ	41.5

Tabla 10 Probabilidad de Gumbel.

Periodo de retorno. Intervalo de tiempo en años, en el que se espera que se presente una sola vez la avenida o precipitación extrema que se considera en un diseño.

$$T(x) = \frac{1}{1 - F(x)}$$

Dónde:

F (x) = Función de probabilidad.

T (x) = Periodo de retorno para la intensidad (x).

Periodo de retorno	T (x)	5	10	25	50	100
Función de probabilidad	F (x)	0.8	0.9	0.96	0.98	0.99
Precipitación proyectada	X	59.8	69.0	80.6	89.2	97.7

Tabla 11 Intensidades para los diferentes periodos de retorno.

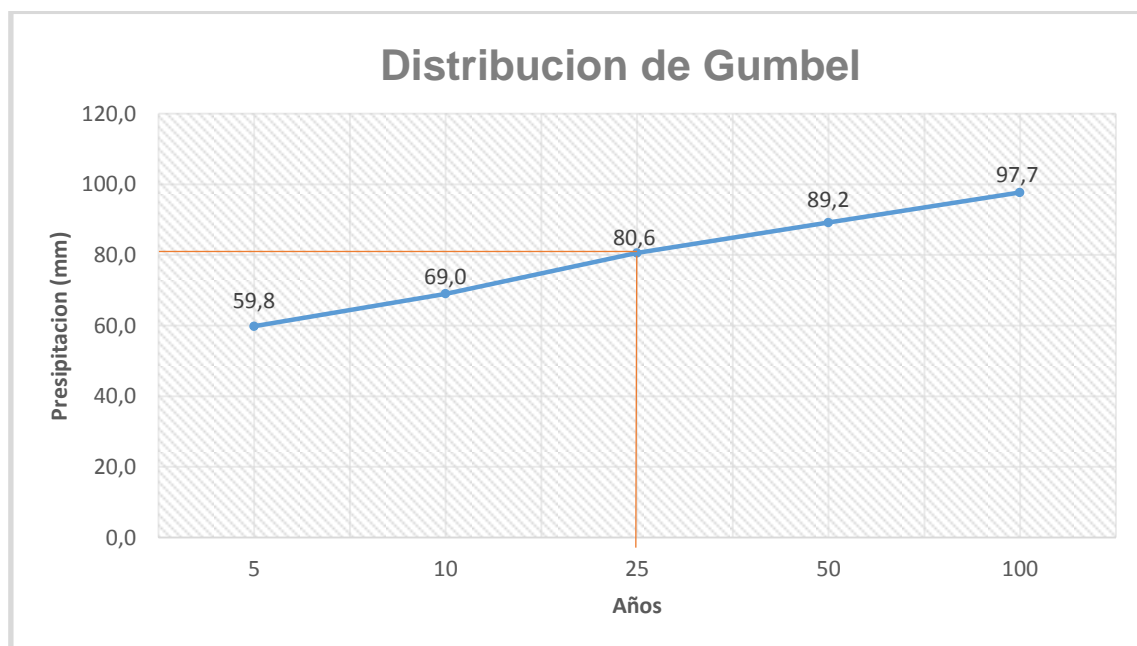


Figura 19 Distribución de Gumbel para diferentes anos de precipitación.

**4.1.3.1.3.1.1.3 TEST DE KOLMOGOROV SMIRMOV.**

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú.

Este test de bondad de ajuste está basado en un estadístico que mide la desviación de frecuencia observada acumulada. Este test es válido para distribuciones continuas. Sin embargo, sirve tanto para muestras grandes como muestras chicas.

Una vez determinada ambas frecuencias, se obtuvo el superior de las diferencias entre ambas que se denomina D.

$$D = \text{Sup}|F_n(x)_i - F(x)_i|$$

$F_n(x)_i$: Frecuencias observadas acumuladas

$F(x)_i$: Frecuencia teórica acumulada

- Si el valor de $D < D_t$. El ajuste es adecuado.
- Si el valor de $D > D_t$. El ajuste no es adecuado.

$$|F_n(x)_i - F(x)_i|^2$$



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Precipitación Max 24 horas		Frecuencia observada acumulada	Frecuencia teórica acumulada	$D = \sup F_n(x)_i - F(x)_i $	$ F_n(x)_i - F(x)_i ^2$	$ F_n(x)_i - \overline{F_n(x)_i} ^2$
Muestra	Precipitación					
1	18.0	0.037	0.001	0.036	0.001	0.214
2	32.5	0.074	0.125	0.051	0.003	0.181
3	34.2	0.111	0.163	0.052	0.003	0.151
4	35.5	0.148	0.196	0.048	0.002	0.124
5	36.0	0.185	0.209	0.024	0.001	0.099
6	38.3	0.222	0.274	0.051	0.003	0.077
7	41.0	0.259	0.354	0.095	0.009	0.058
8	41.4	0.296	0.366	0.070	0.005	0.041
9	41.6	0.333	0.372	0.039	0.001	0.028
10	43.7	0.370	0.435	0.064	0.004	0.017
11	44.3	0.407	0.452	0.045	0.002	0.009
12	44.8	0.444	0.467	0.023	0.001	0.003
13	45.0	0.481	0.473	0.009	0.000	0.000
14	45.5	0.519	0.487	0.031	0.001	0.000
15	46.4	0.556	0.513	0.043	0.002	0.003
16	49.8	0.593	0.603	0.010	0.000	0.009
17	52.2	0.630	0.660	0.030	0.001	0.017
18	52.8	0.667	0.673	0.007	0.000	0.028
19	53.0	0.704	0.678	0.026	0.001	0.041
20	55.2	0.741	0.722	0.018	0.000	0.058
21	55.9	0.778	0.736	0.042	0.002	0.077
22	60.0	0.815	0.803	0.012	0.000	0.099
23	60.0	0.852	0.803	0.049	0.002	0.124
24	64.7	0.889	0.861	0.028	0.001	0.151
25	65.4	0.926	0.868	0.058	0.003	0.181
26	104.4	0.963	0.994	0.031	0.001	0.214
Máximo (D)				0.095		

Tabla 12 Test de Kolmogorov Smirnov



Para determinar el valor de D_t (Distribución del Estadístico Kolmogorov-Smirnov) nos basamos en el número de muestra y el 95% de confiabilidad en base a la siguiente tabla obtenemos el valor de D_t .

Distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov (D_n). Se tabula d tal que $P(D_n > d) = \alpha$.											
n	0'2	0'1	α 0'05	0'02	0'01	n	0'2	0'1	α 0'05	0'02	0'01
1	0'900	0'950	0'975	0'990	0'995	21	0'226	0'259	0'287	0'321	0'344
2	0'684	0'776	0'842	0'900	0'929	22	0'221	0'253	0'281	0'314	0'337
3	0'565	0'636	0'780	0'785	0'829	23	0'216	0'247	0'275	0'307	0'330
4	0'493	0'565	0'624	0'689	0'734	24	0'212	0'242	0'269	0'301	0'323
5	0'447	0'509	0'563	0'627	0'669	25	0'208	0'238	0'264	0'295	0'317
6	0'410	0'468	0'519	0'577	0'617	26	0'204	0'233	0'259	0'290	0'311
7	0'381	0'436	0'483	0'538	0'576	27	0'200	0'229	0'254	0'284	0'305
8	0'358	0'410	0'454	0'507	0'542	28	0'197	0'225	0'250	0'279	0'300
9	0'339	0'387	0'430	0'480	0'513	29	0'193	0'221	0'246	0'275	0'295
10	0'323	0'369	0'409	0'457	0'489	30	0'190	0'218	0'242	0'270	0'290
11	0'308	0'352	0'391	0'437	0'468	31	0'187	0'214	0'238	0'266	0'285
12	0'296	0'338	0'375	0'419	0'449	32	0'184	0'211	0'234	0'262	0'281
13	0'285	0'325	0'361	0'404	0'432	33	0'182	0'208	0'231	0'258	0'277
14	0'275	0'314	0'349	0'390	0'418	34	0'179	0'205	0'227	0'254	0'273
15	0'266	0'304	0'338	0'377	0'404	35	0'177	0'202	0'224	0'251	0'269
16	0'258	0'295	0'327	0'366	0'392	36	0'174	0'199	0'221	0'247	0'265
17	0'250	0'286	0'318	0'355	0'381	37	0'172	0'196	0'218	0'244	0'262
18	0'244	0'279	0'309	0'346	0'371	38	0'170	0'194	0'215	0'241	0'258
19	0'237	0'271	0'301	0'337	0'361	39	0'168	0'191	0'213	0'238	0'255
20	0'232	0'265	0'294	0'329	0'352	40	0'165	0'189	0'21	0'235	0'252
> 40							$\frac{1'07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1'22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1'36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1'52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1'63}{\sqrt{n}}$

Tabla 13 Distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov. (Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, Ministerio de transporte y comunicaciones Perú).

D	0.095
Confiabilidad	95%
Muestra (N)	26
Dt	0.259
D < Dt	Ajuste adecuado

Tabla 14 Verificación de ajuste.

Coeficiente de correlación.

Se encuentra definido por la siguiente expresión.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_n(x)_i - \overline{F_n(x)})^2}{\sum (F_n(x)_i - \overline{F_n(x)})^2}$$

Dónde:

R^2 : Coeficiente de determinación $0 \leq R^2 \leq 1$.

$\overline{F_n(x)}$: Media de las frecuencias observadas acumuladas.

$$|F_n(x)_i - \overline{F_n(x)}|^2$$

Media de frecuencias observadas acumuladas	$\overline{F_n(x)}$	0.500
Coeficiente de determinación	R^2	0.976

Tabla 15 Coeficiente de determinación.

Como se observa el coeficiente de correlación está dentro de los límites establecidos.

Al aplicar el método de distribución de Gumbel para un periodo de retorno de (TR) 25 años se obtuvo una intensidad diaria de (I_{dTR}) 80.6 mm.

4.1.3.1.3.1.2 ANALISIS HIDROLOGICO DE ALCANTARILLAS.

Existen diferentes métodos para la estimación de los caudales de diseño:

- Empíricos: Sin información: Creager y Lowry
- Semiempricos: Intensidad de la precipitación: Método Racional, Ven te Chow
- Estadísticos: Caudales máximos instantáneos (Gumbel Normal)
- Métodos Matemáticos: HEC HMS (características generales de las cuencas de drenaje, uso de suelo, pendiente, precipitaciones máximas, tiempo de concentración, coeficiente de escurrimiento, periodo de retorno)

Para la estimación de los caudales en función del análisis hidrológico el factor más determinante es el valor del área de la cuenca hidrológica ya que se establecen dos métodos más utilizados de diseño según su magnitud estos son:

1. Método Racional utilizado para cuencas pequeñas que tengan Áreas < 1.6km²



2. Método SCS (Soil Conservation Service) para cuencas con Áreas > 1.6km²

Por lo que es necesario conocer el valor del área de las cuencas aportantes a cada una de las alcantarillas a fin de determinar el método a utilizar para la estimación de sus caudales.

En el presente diseño se ha tenido en cuenta todos los posibles cauces de escorrentía, por muy ocasionales que sean, puesto que nos ayudarán a trazar las líneas divisorias de agua.

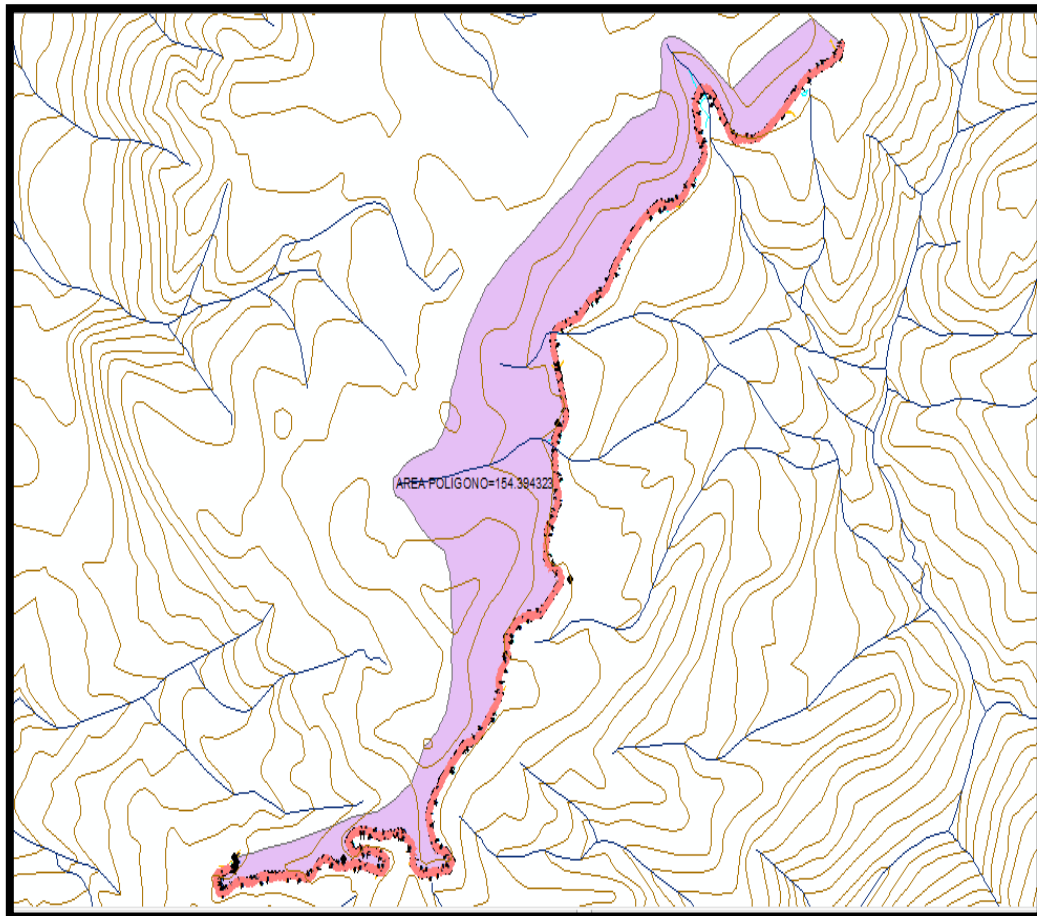


Figura 20 Área de drenaje de todo el proyecto vial

Analizando la topografía del terreno involucrado en el proyecto vial se determinó que el área total de la cuenca de todo el proyecto es de:

$$154.39\text{Ha} = 1.5439\text{km}^2 < 1,6 \text{ km}^2$$

Lo que implica que el área de la cuenca para cada alcantarilla tiene un valor inferior a 1.6 Km², por ende la estimación de los caudales para las diferentes alcantarillas se lo realizara aplicando el Método Racional.



4.1.3.1.3.1.2.1 METODO RACIONAL.

El método Racional es uno de los métodos más utilizados para la estimación del caudal máximo asociado a determinada lluvia de diseño.

Es un método adecuado para el cálculo de caudales para cuencas pequeñas con áreas menores a 1.6 Km², en función de los datos de precipitación pluvial en el lugar, del área de la cuenca, de la topografía y del tipo de suelo.

La fórmula de partida para el caudal de referencia en el punto de desagüe de una cuenca es la correspondiente al método racional:

$$Q = \frac{CIA}{3.6}$$

Dónde:

Q= Caudal máximo probable (m³/s)

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de precipitación (mm/h)

A= Área de Drenaje (km²)

4.1.3.1.3.1.2.1.1 AREA DE DRENAJE (A).

El área de drenaje de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro de la cuenca total aportante. Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografías aéreas en las que se aprecia el relieve (y por lo tanto las divisorias de aguas) o sobre un mapa topográfico en función de las curvas de nivel representadas. Probablemente sea el factor más importante en la relación escorrentía- características morfológicas.

En ocasiones, debido a que los métodos de estima de la escorrentía solo son válidos si se aplican a áreas de características similares, es necesario tener que dividir las cuencas de gran tamaño en las que la red de drenaje es muy compleja en subcuencas de menor entidad pero mayor homogeneidad.

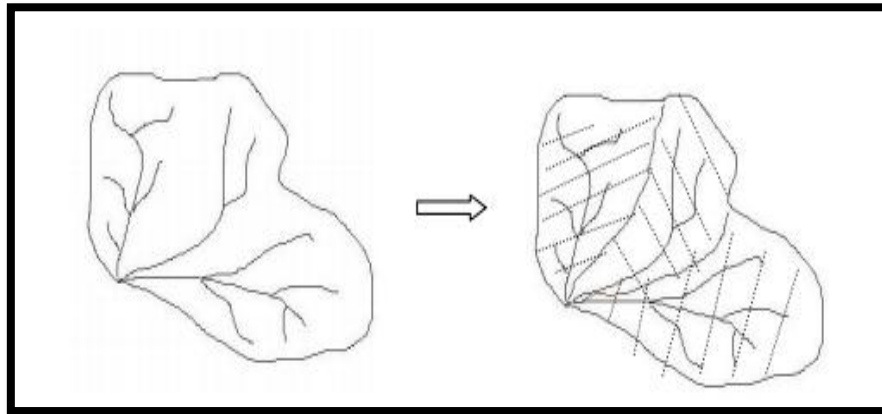


Figura 21 Subdivisión de una cuenca hidrográfica en 3 subcuentas menores.

Inicialmente para su cálculo utilizaba papel milimetrado o un planímetro, en la actualidad es posible determinarla por medio de herramientas informáticas, para lo que es necesario disponer de una base cartográfica digital y de un SIG (Arc Gis).

El área se calcula por cualquiera de los métodos ya mencionados y se expresara en Hectáreas o Kilómetros cuadrados.

Para nuestro caso en particular para las diferentes áreas de drenajes de sus respectivas alcantarillas se utilizó la herramienta digital Arc Gis obteniéndose las siguientes divisiones a lo largo del proyecto vial desde la abscisa 0+00, los valores también se los plasma en la tabla 20.

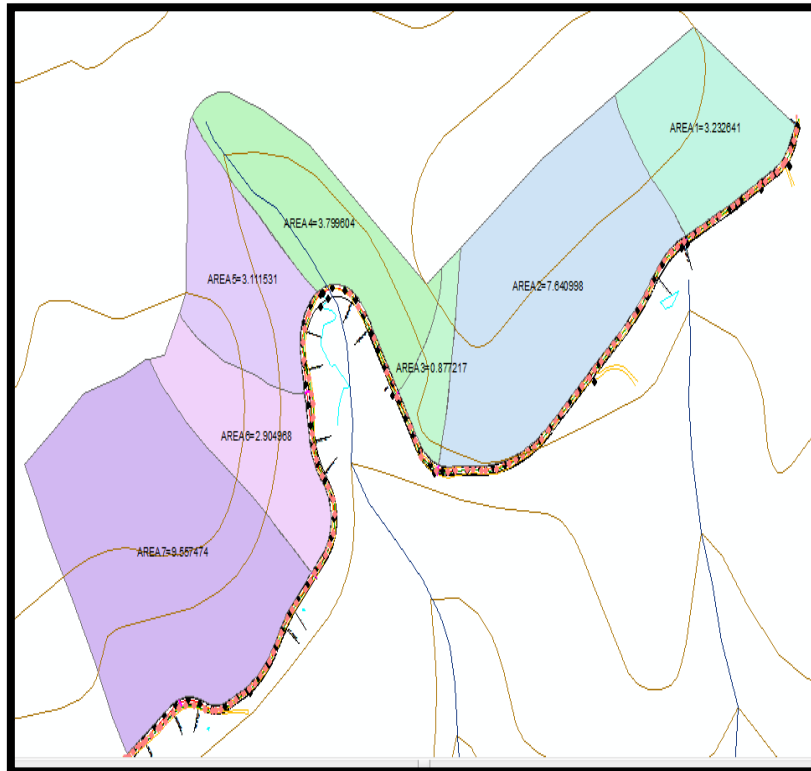


Figura 22 Área de drenaje (A1-A7).

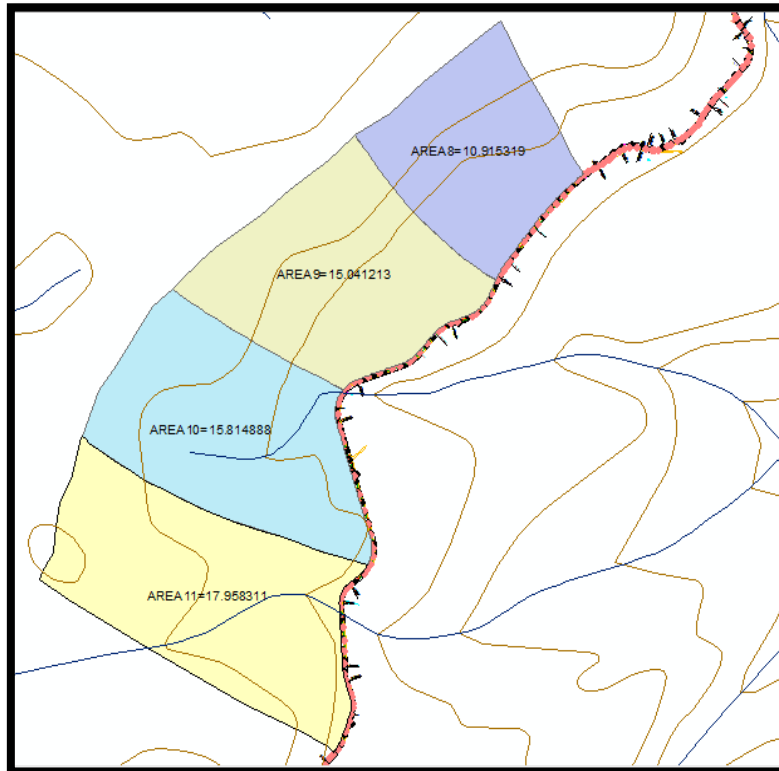


Figura 23 Área de drenaje (A8-A11).

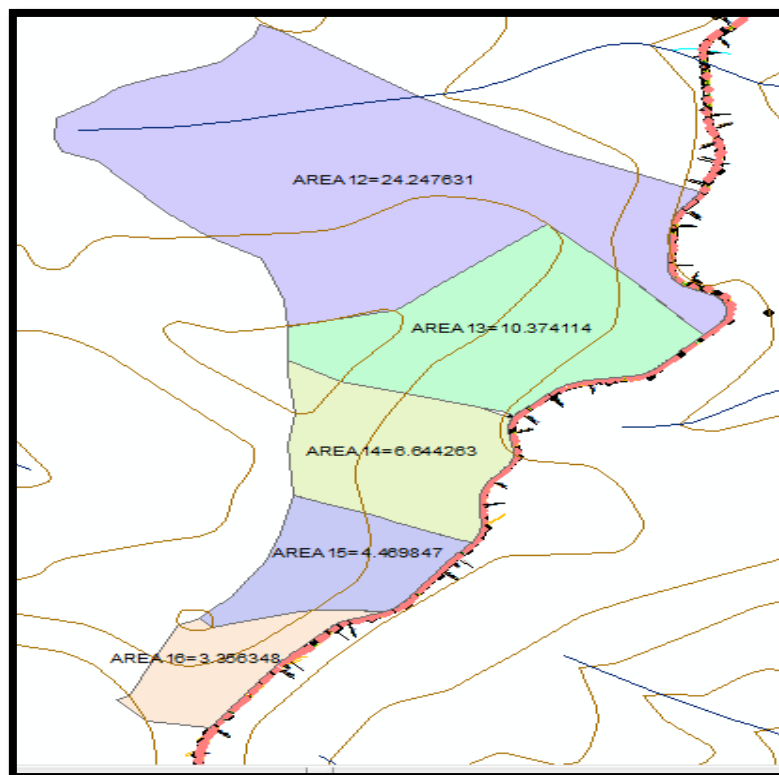


Figura 24 Área de drenaje (A12-A16).

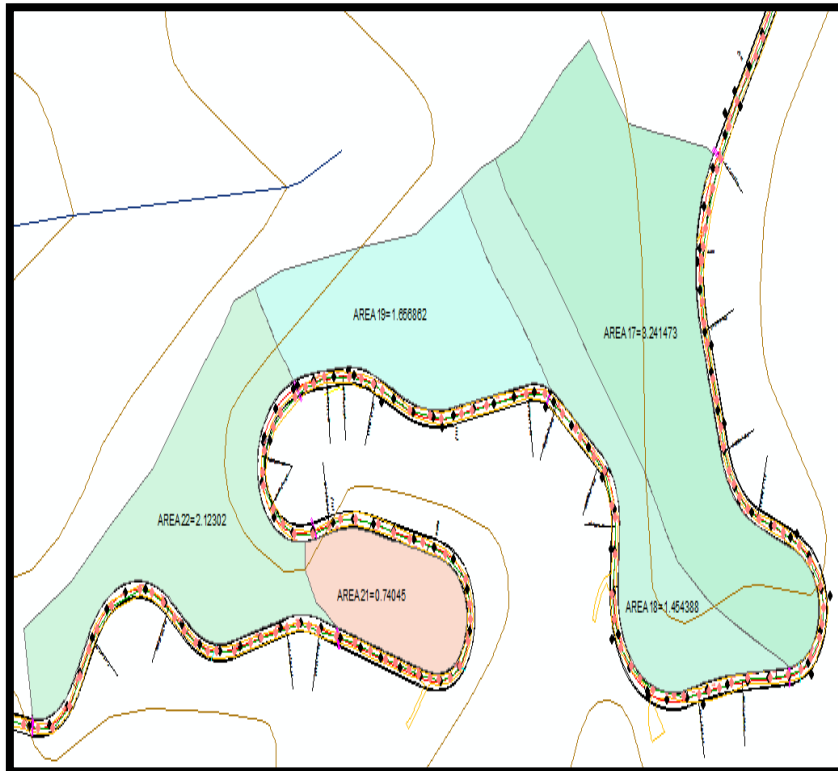


Figura 25 Área de drenaje (A16-A22).

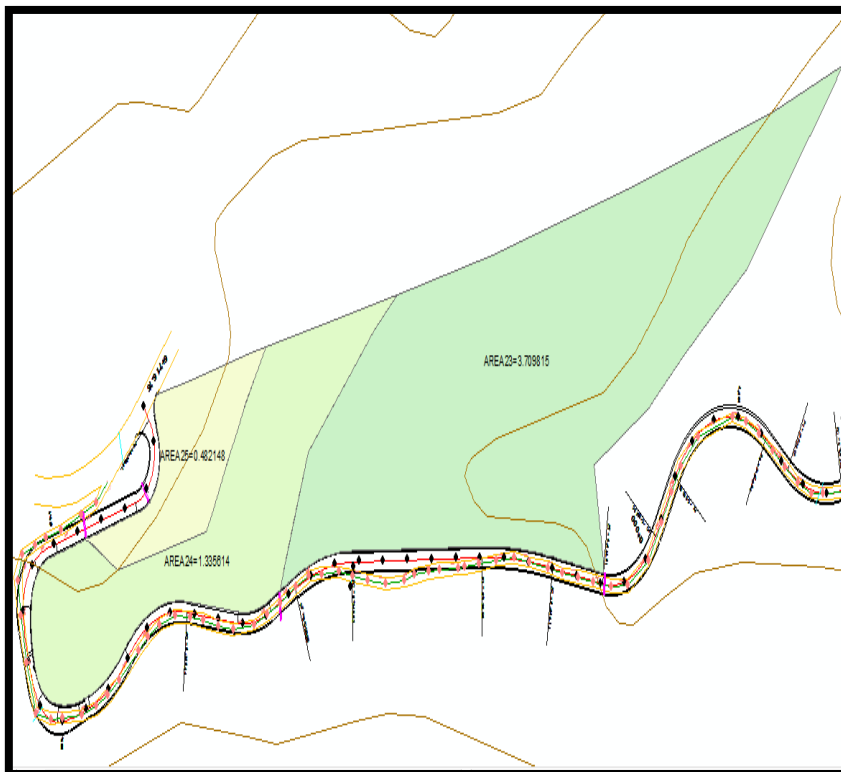


Figura 26 Área de drenaje (A22-A25)



4.1.3.1.3.1.2.1.2 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA.

La escorrentía superficial provocada por un aguacero (E_s) puede compararse con la precipitación caída (P). Al cociente entre ambos valores se le denomina coeficiente de escorrentía (C).

$$C = \frac{E_s}{P}$$

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo, de la humedad inicial del suelo, del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, micro relieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente, de la intercepción que provoque, del lapso de tiempo que consideremos (minutos, duración del aguacero, horas, días, meses, año).

El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre:

$$0 \leq C \leq 1$$

La siguiente tabla presenta el coeficiente de escorrentía cuando se realiza el diseño por el método racional.

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada >50%	Alta 50%-20%	Media 20%-8%	Suave 8%-1%	Despreciable <1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos y vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierva y grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques y vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Tabla 16 Coeficiente de escorrentía (MTOP, 2003).



C=0.5

4.1.3.1.3.1.2.1.3 INTENSIDAD DE PRESCRIPCIÓN (I).

Para obtener la mencionada ecuación representativa de la zona y en base a la siguiente figura obtenida de la INAMHI se obtiene la ecuación de la zona de estudio.

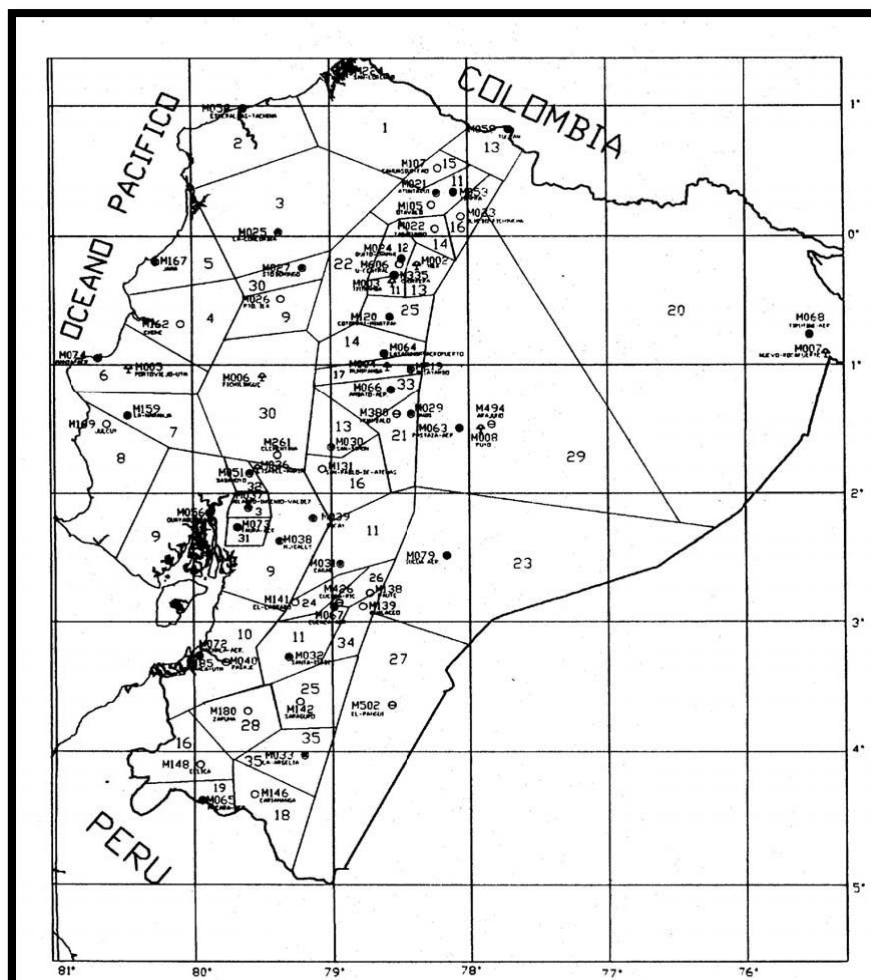


Figura 27 Zonas meteorológicas del país (Fuente: Estudio de lluvias intensas INAMHI Luis Rodríguez Fiallos, 1999).

ZONIFICACION DE INTENSIDADES		
ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE LAS ZONAS		
ZONA	DURACION	ECUACION
1	5 min < 130 min	$I_{TR} = 47.926 t^{0.3387} Id_{TR}$
	130 min < 1440 min	$I_{TR} = 787.57 t^{0.9154} Id_{TR}$
2	5 min < 30 min	$I_{TR} = 19.305 t^{0.1332} Id_{TR}$
	30 min < 1440 min	$I_{TR} = 115.4 t^{0.6546} Id_{TR}$
3	5 min < 90 min	$I_{TR} = 53.369 t^{0.3278} Id_{TR}$
	90 min < 1440 min	$I_{TR} = 639.52 t^{0.8838} Id_{TR}$
4	5 min < 20 min	$I_{TR} = 56.507 t^{0.2694} Id_{TR}$
	20 min < 1440 min	$I_{TR} = 247.71 t^{0.7621} Id_{TR}$
5	5 min < 40 min	$I_{TR} = 54.719 t^{0.3875} Id_{TR}$
	40 min < 1440 min	$I_{TR} = 197.81 t^{0.7378} Id_{TR}$
6	5 min < 120 min	$I_{TR} = 57.598 t^{0.4267} Id_{TR}$
	120 min < 1440 min	$I_{TR} = 344.08 t^{0.7982} Id_{TR}$
7	5 min < 60 min	$I_{TR} = 97.055 t^{0.403} Id_{TR}$
	60 min < 1440 min	$I_{TR} = 869.87 t^{0.9346} Id_{TR}$
8	5 min < 30 min	$I_{TR} = 80.068 t^{0.3683} Id_{TR}$
	30 min < 1440 min	$I_{TR} = 351.73 t^{0.7977} Id_{TR}$
9	5 min < 116 min	$I_{TR} = 40.035 t^{0.341} Id_{TR}$
	116 min < 1440 min	$I_{TR} = 355.49 t^{0.8043} Id_{TR}$
10	5 min < 88 min	$I_{TR} = 40.414 t^{0.3124} Id_{TR}$
	88 min < 1440 min	$I_{TR} = 356.17 t^{0.8009} Id_{TR}$
11	5 min < 60 min	$I_{TR} = 137.27 t^{0.5153} Id_{TR}$
	60 min < 1440 min	$I_{TR} = 578.56 t^{0.8736} Id_{TR}$
12	5 min < 50 min	$I_{TR} = 138.01 t^{0.4882} Id_{TR}$
	50 min < 1440 min	$I_{TR} = 674.13 t^{0.8935} Id_{TR}$
13	5 min < 36 min	$I_{TR} = 76.96 t^{0.2953} Id_{TR}$
	36 min < 1440 min	$I_{TR} = 642.11 t^{0.8898} Id_{TR}$
14	5 min < 40 min	$I_{TR} = 133.83 t^{0.4283} Id_{TR}$
	40 min < 1440 min	$I_{TR} = 800.89 t^{0.9189} Id_{TR}$
15	5 min < 230 min	$I_{TR} = 110.85 t^{0.4943} Id_{TR}$
	230 min < 1440 min	$I_{TR} = 3197.1 t^{1.1077} Id_{TR}$
16	5 min < 25 min	$I_{TR} = 76.946 t^{0.4583} Id_{TR}$
	25 min < 1440 min	$I_{TR} = 174.47 t^{0.7143} Id_{TR}$
17	5 min < 40 min	$I_{TR} = 201.28 t^{0.4573} Id_{TR}$
	40 min < 1440 min	$I_{TR} = 1415.8 t^{0.9947} Id_{TR}$
18	5 min < 50 min	$I_{TR} = 69.036 t^{0.335} Id_{TR}$
	50 min < 1440 min	$I_{TR} = 510.71 t^{0.849} Id_{TR}$

Figura 28 Ecuaciones representativas de la zona (Fuente: Estudio de lluvias intensas INMHI Luis Rodríguez Fiallos, 1999).



Determinamos la zona a considerar dentro de nuestra área de estudio de donde el área de estudio pertenece a la zona 11

	88 min < 1440 min	$I_{TR} = 356.17 t^{-0.8099} Id_{TR}$
11	5 min < 60 min	$I_{TR} = 137.27 t^{-0.5153} Id_{TR}$
	60 min < 1440 min	$I_{TR} = 578.56 t^{-0.8736} Id_{TR}$

Figura 29 Ecuación representativa de la zona de estudio (Fuente: Estudio de lluvias intensas INAMHI Luis Rodríguez Fiallos).

$$I_{TR} = 137.27 * t^{-0.5153} * Id_{TR}$$

Dónde:

I_{TR} = Intensidad de precipitación por cualquier periodo de retorno en mm/h.

Id_{TR} = Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h

TR = Periodo de retorno.

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos.

Para tiempos de concentración 5 min < 60 min.

4.1.3.1.3.1.2.1.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe, o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, al tiempo que máximo.

El punto hidrológicamente más alejado es aquel desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida.

Debido a la limitada información existente se recomienda tomar el tiempo de duración de la lluvia igual al tiempo de concentración, considerando que en este lapso mayor aportación de la cuenca al cauce. (MTOP, 2003).

$$T_C = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

Tc = Tiempo de concentración en minutos.

L = Longitud del cauce principal en minutos.

H = El desnivel entre extremos de la cuenca y el punto de descarga.



A partir del análisis en Arc Gis se determinó que nuestras cuencas de aporte son pequeñas, por lo que se optó por tomar un tiempo de concentración de 5 minutos la razón principal de tomar este tiempo de concentración es que se obtiene la mayor intensidad de precipitación

Para lo cual se calcula la intensidad:

$$I_{TR} = 137.27 * 5^{-0.5153} * \frac{80.6mm}{24hrs}$$

$$I_{TR} = 201.1 \frac{min}{h}$$

4.1.3.1.3.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS.

Con el caudal de diseño de la alcantarilla ya estimado o determinado, que normalmente se adopta para la alcantarilla el caudal producido por una tormenta con un tiempo de retorno de 25 a 50 años, dependiendo básicamente del grado de daños que podría ocasionar una falla funcional de la alcantarilla.

Es necesario conocer las características geométricas del obstáculo que atraviesa la alcantarilla es decir conocer la altura del terraplén del camino que se va a atravesar, la estructura del pavimento, la resistencia de la alcantarilla para que pueda resistir el peso de la tierra que la confina.

Con esto quiere ponerse en manifiesto que existen varios factores que condicionan el dimensionamiento hidráulico de las alcantarillas, factores que se deben analizar cada caso en particular, y que están fuertemente ligados a la experiencia del proyectista. Es evidente que en toda obra de ingeniería se procura maximizar la relación beneficio- costo, por lo que el factor económico desempeña un rol principal en la selección de la alcantarilla más adecuada al problema planteado.

En el diseño de las alcantarillas se considera que la sección de las mismas tienen una sección transversal uniforme, ya sea rectangular, circular, ovalada o bóveda tanto de hormigón como metálicas, y de sección rectangular, solo de hormigón. La entrada puede consistir en el conducto de la alcantarilla prolongado fuera del terraplén, o cortado en bisel, dependiendo la pendiente de los taludes.

Como síntesis se puede decir que el diseño de alcantarillas consiste en determinar el tipo de sección, material y embocadura de alcantarilla que para la longitud y pendiente que posee, sea capaz de evacuar el caudal de diseño, provocando un nivel de agua en la entrada que no ponga en peligro de falla estructural, ni funcional de la estructura que se desea atravesar optimizando los recursos disponibles, es decir, buscar la solución técnico- económica más conveniente.



4.1.3.1.3.2.1 CONCEPTOS HIDRÁULICOS.

Una alcantarilla no es más que un conducto cuya sección puede ser circular, ovalada, rectangular, etc. De acuerdo a las dimensiones, material de la alcantarilla, caudal, condiciones de entrada y de salida de la misma, etc., irán variando las características hidráulicas del flujo; pudiendo variar desde un flujo a superficie libre con un tirante pequeño, hasta un conducto a presión, cuando fluye totalmente llena. En el primer caso, podría dimensionarse la alcantarilla empleando la teoría de flujo en canales abiertos, mientras que en el segundo, con las ecuaciones de la teoría de conductos. Entre ambas condiciones extremas se plantean un gran número de casos con soluciones más o menos complejas. En conclusión, el análisis hidráulico teórico del escurrimiento en el interior de una alcantarilla es muy complejo. Por esta razón se han hecho numerosos ensayos de laboratorio de la mayoría de casos prácticos de diseño de alcantarillas. Estos ensayos, posteriormente han sido convalidados con observaciones en el terreno y se han obtenido resultados altamente satisfactorios.

4.1.3.1.3.2.2 DISEÑO HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS.

El cálculo dimensional de una alcantarilla se efectuara en base al caudal máximo de diseño, a la pendiente establecida y a la verificación de la velocidad máxima y/o el remanso a la entrada.

El método más adecuado para estimar el caudal máximo, en estas condiciones, es el denominado “METODO DE MANNING” que depende de la sección y de la pendiente.

De la misma manera como se procedió para el diseño hidráulico de las cunetas, se lo realiza para el diseño hidráulico de la alcantarilla es decir aplicando la expresión de caudal de Manning explicada en la **(Sección 4.1.2.1.3.2)**.

Para el caso de alcantarillas a continuación presentamos algunos valores del coeficiente de rugosidad “n” de Manning particularmente para tuberías de hormigón.



DESCRIPCION	"n"
TUBOS DE HORMIGON	0.012
Tubos de metal corrugado o tubos en arco:	
a) Simple o revestido	0.024
b) Solera pavimentada	0.019
Tubo de arcilla vitrificada	0.012
Tubo de hierro fundido	0.013
Alcantarilla de ladrillo	0.015
Pavimento asfáltico	0.015
Pavimento de hormigón	0.014
Parterre de césped	0.05
Tierra	0.02
Grava	0.02
Roca	0.035
Areas cultivadas	0.03-0.05
Matorrales espesos	0.07-0.14
Bosques espesos-poca maleza	0.10-0.15
Cursos de agua	
a) Algo de hierba y maleza-poco o nada de matorrales	0.03-0.035
b) Maleza densa	0.035-0.05
c) Algo de maleza-matorrales espesos a los costados	0.05-0.07

Tabla 17 Coeficiente de rugosidad de Manning (MTOP 2003).

4.1.3.1.3.2.3 COMPROBACIÓN HIDRÁULICA.

4.1.3.1.3.2.3.1 SECCIÓN DE CONTROL.

4.1.3.1.3.2.3.2 FLUJO CON CONTROL DE ENTRADA.

A partir de experimentación, se han puesto de manifiesto dos formas fundamentales típicas de escurrimiento en alcantarillas, que incluyen todas las demás.

1. Escurrimiento con control de entrada
2. Escurrimiento con control de salida

En el escurrimiento con control de entrada, el caudal que puede pasar por la alcantarilla, depende fundamentalmente de las condiciones de entrada a la misma. Es decir, depende de la sección transversal del conducto, de la geometría de la embocadura y de la profundidad del agua a la entrada o altura del remanso.

En el flujo con control de entrada el tirante crítico se forma en las proximidades de la sección de entrada a la alcantarilla, quedando hacia aguas arriba de dicha sección un remanso en flujo subcrítico, y en aguas abajo, un flujo supercrítico. De tal manera que lo que ocurre desde la sección hacia aguas arriba, tiene influencia en el nivel de la entrada de la alcantarilla, pero no tiene ninguna influencia lo que ocurre aguas abajo de dicha sección.

Por tal motivo, las variables que intervienen en este tipo de flujo son:

- Tipos y dimensiones de la sección transversal
- Geometría de la embocadura.
- Nivel de agua a la entrada (H_e)

Si bien no es sencillo predefinir cuando un flujo tendrá control de entrada, los casos más típicos son aquellos en los cuales:

1. La entrada está descubierta y la pendiente es supercrítica, pudiendo o no fluir llena la sección en parte del conducto.

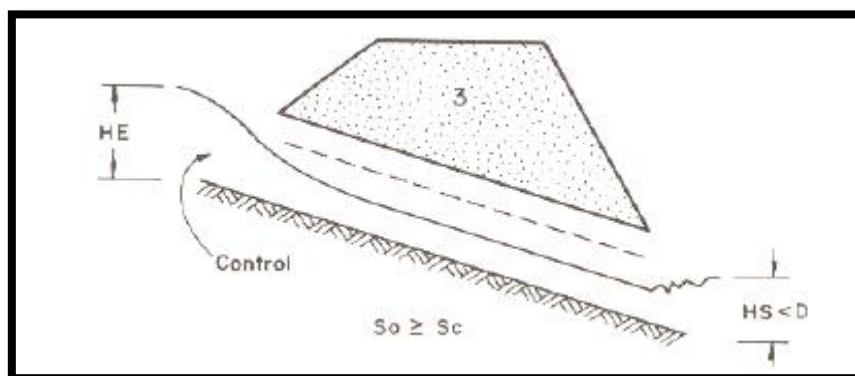


Figura 30 Flujo con control de entrada (Fuente: Carciente, 1985).

2. La entrada está sumergida, y sin embargo no fluye lleno el conducto, pudiendo ser subcrítica o supercrítica la pendiente.

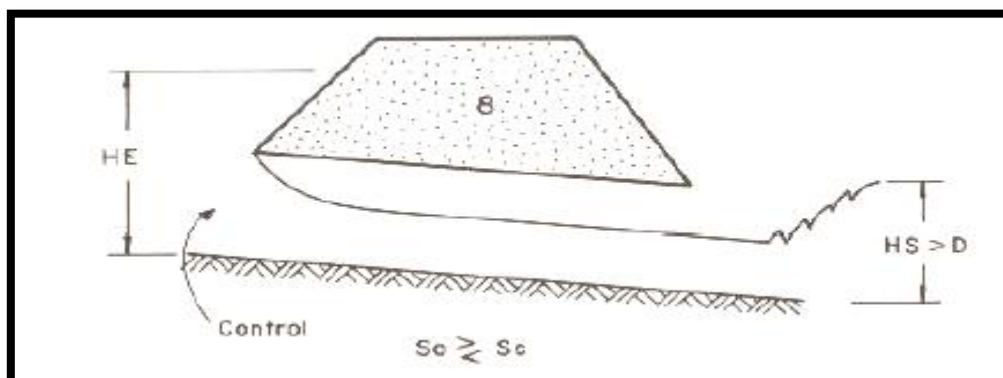


Figura 31 Flujo con control de entrada (Fuente: Carciente, 1985).

4.1.3.1.3.2.3.3 FLUJO CON CONTROL DE SALIDA.

En el flujo con control de salida el tirante crítico se forma en las proximidades de la sección de salida de la alcantarilla, quedando hacia aguas arriba de dicha sección un remanso en flujo suscritico, y aguas abajo, un flujo supercrítico.

De tal manera que todo lo que ocurre desde la sección de salida hacia aguas arriba tiene influencia en el nivel a la entrada de la alcantarilla. Por eso, las variables que intervienen en este tipo de flujo son las mismas que intervienen en el control de entrada más las que corresponden al tramo entre esta sección y la de salida.

- Tipo y dimensiones de la sección transversal
- Geometría de la embocadura
- Nivel de agua a la entrada (H_e)
- Nivel de agua a la salida
- Pendiente del conducto
- Rugosidad del conducto
- Largo del conducto

Al igual que en el control de entrada, tampoco aquí es sencillo predefinir cuando un flujo tendrá control de salida, los casos más típicos son aquellos en los cuales:

1. La altura del agua no sumerge la entrada y la pendiente del conducto es suscritica.

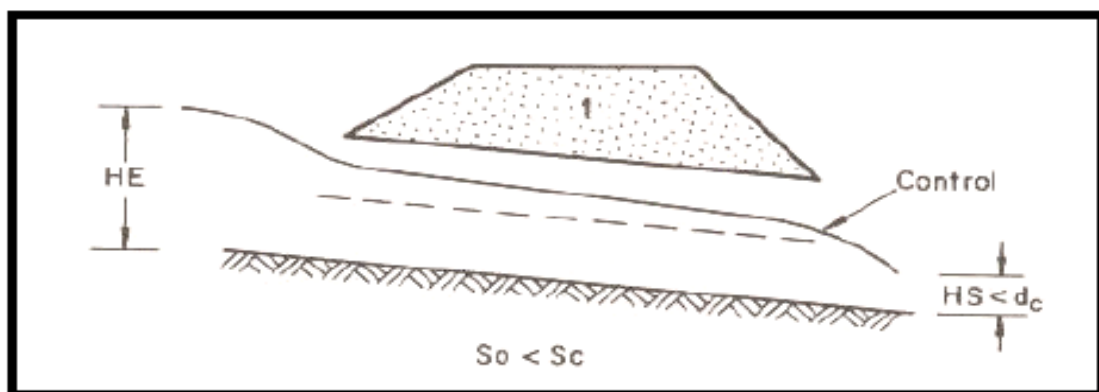


Figura 32 Flujo de control de salida caso 1 (Fuente: Carciente, 1985).

2. Las alcantarillas fluyendo a plena capacidad.

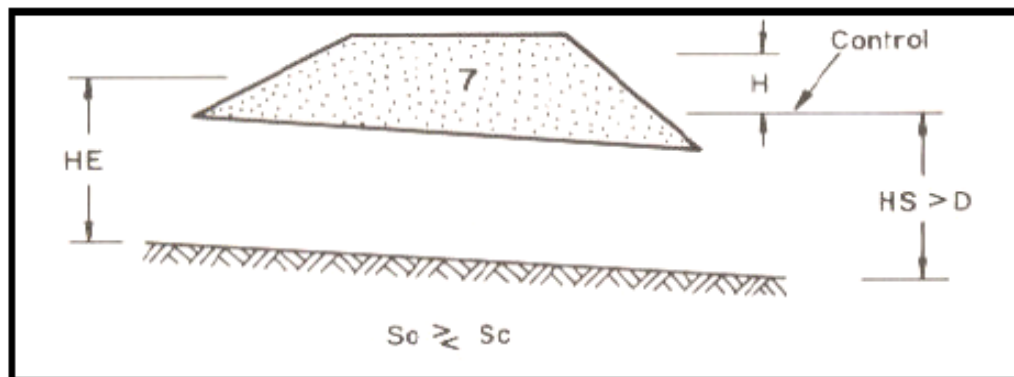


Figura 33 Flujo con control de salida caso 2 (Fuente: Carciente, 1985).

En el caso de flujo de control de salida comienzan a intervenir en el cálculo las características del flujo en la alcantarilla y a la salida de la misma. Desde el punto de vista del cálculo conviene identificar distintos tipos de escurrimientos en alcantarillas con control de salida.

La figura 34 presenta cuatro tipos de flujo con control de salida:

- Sección llena con nivel aguas abajo por encima del dintel de la sección de salida.
- Sección llena con nivel aguas abajo por debajo del dintel de la sección de salida.
- Sección parcialmente llena en un tramo del conducto
- Sección parcialmente llena en todo el conducto

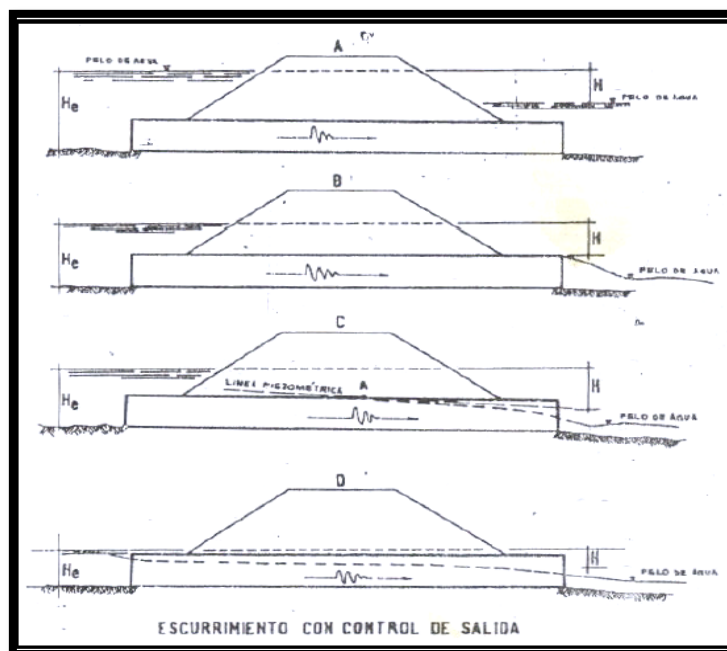


Figura 34 Clasificación de flujo con control de salida (Fuente: DNV, 1996).



Cálculos para flujos con control de salida

Si nos planteamos la ecuación de energía entre 2 puntos, en este caso entre la entrada y la salida de la alcantarilla, resulta una ecuación general del tipo:

$$H_e = H + H_1 - L_i$$

Dónde:

H_e = nivel a la entrada

H_1 = nivel a la salida

H = energía empleada en la obtención de energía de velocidad a la salida, más la pérdida por fricción y pérdidas a la entrada.

L = Longitud del conducto

i = pendiente del conducto

Caso A

$$H = h_v + h_e + h_f$$

Dónde:

$$h_v = \frac{V^2}{2g}$$

$$h_e = k_e \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \frac{V^2}{2g}$$

Lo cual viene de:

$$h_f = LS_f$$

Donde S_f se calcula sabiendo que:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Despejando tenemos:

$$S = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$$

$$h_f = L \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}$$

Por lo que

$$H = \left(1 + k_e + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \right) \frac{V^2}{2g}$$

El coeficiente k_e es un coeficiente experimental que tiene en cuenta las pérdidas a la entrada a la alcantarilla.

Una vez que se ha determinado el valor de H , el resto de las variables son conocidas. Así, H_1 es el nivel aguas abajo que se asume conocido, el termino L_i es la longitud de la alcantarilla multiplicada por su pendiente, ambos elementos preestablecidos en el diseño de la misma.

TIPO DE ESTRUCTURA Y DISEÑO DE LA TERMINACION DEL EXTREMO		K_e
TUBERÍA CONCRETO	Prolongado fuera del terraplén, extremo corte recto	0.5
	Corte recto con muro de cabecera	0.5
	Chanflado para ajustarse a la pendiente del relleno	0.7
	Bordes biselados	0.2
TUBERÍA METAL CORRUGADO, POLIETILENO TIGRE	Prolongado fuera del terraplén, sin muro de cabecera	0.9
	Corte recto con muro de cabecera	0.5
	Chanflado para ajustarse a la pendiente del relleno (talud)	0.7
	Sección terminal prefabricada para ajustarse a la pendiente del talud	0.5
	Bordes biselados	0.2
	Con muro de cabecera perpendicular al eje del tubo o sin muros de ala y aristas biseladas	0.2

Tabla 18 Coeficiente de pérdidas de carga a la entrada a las alcantarillas (Fuente: IMFIA & MTOP, 2000).

Ecuaciones de Flujo en Alcantarillas

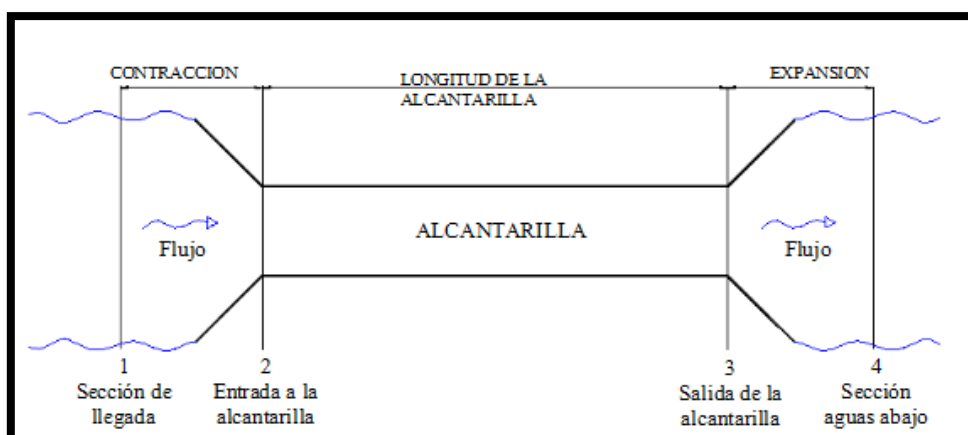


Figura 35 Vista en planta de una alcantarilla y secciones de control (Fuente: IMFIA & MTOP, 2000).

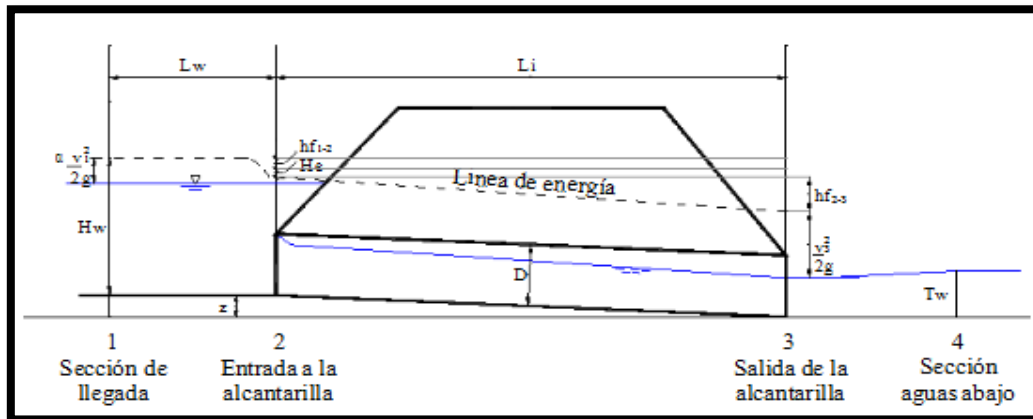


Figura 36 Definición esquemática del flujo en alcantarillas. (Fuente: IMFIA & MTOP, 2000).

Las ecuaciones de flujo en una alcantarilla se determinan aplicando las ecuaciones de continuidad y energía entre la sección de llegada y una sección aguas abajo que normalmente se encuentra dentro de la alcantarilla. La ubicación de la sección aguas abajo depende del tipo de flujo dentro de la alcantarilla. En el cálculo del flujo a través de alcantarillas se distinguen seis categorías de flujo.

- Tipo 1: Tirante crítico a la entrada.
- Tipo 2: Tirante crítico a la salida.
- Tipo 3: Alcantarilla parcialmente llena y flujo suscritico.
- Tipo 4: Ahogada a la entrada y a la salida.
- Tipo 5: Alcantarilla parcialmente llena y flujo suscritico a la entrada.
- Tipo 6: Ahogada a la entrada y llena a la salida.

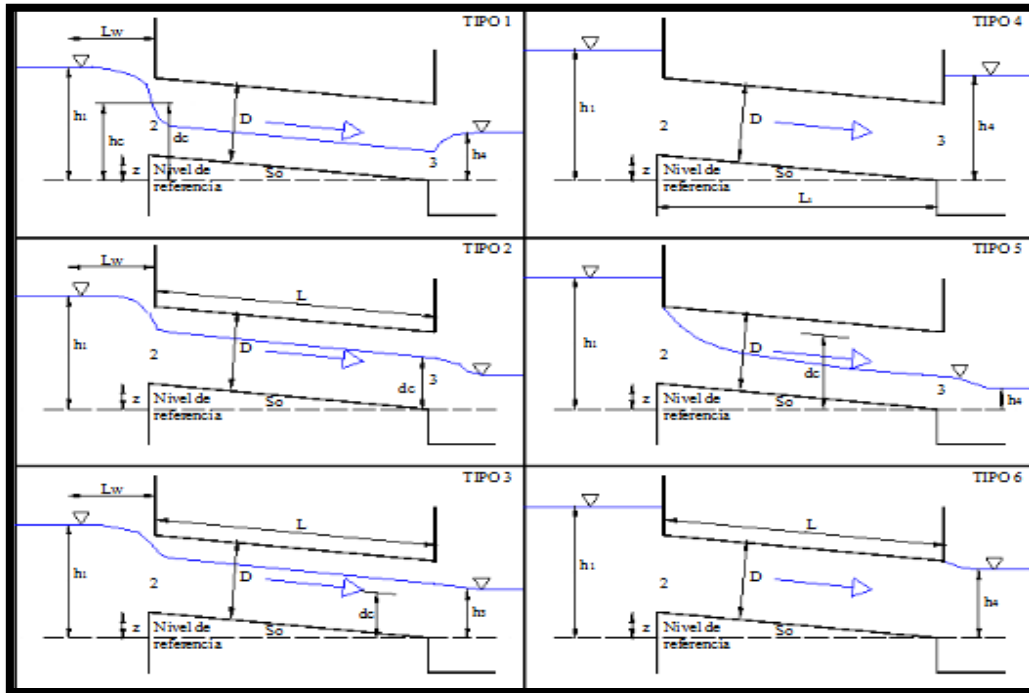


Figura 37 Tipos de flujos en las alcantarillas (Fuente: IMFIA & MTOP,2000).

Tipos de flujo en alcantarillas		Ecuación de gasto
Tipo 1	Tirante crítico a la entrada ($h_1 - z$)/D < 1.5 $h_2/h_c < 1.0$ $S_0 > S_c$	$Q = C_{D1} A_c \sqrt{2g \left(h_1 - z + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - y_c - h_{f1-2} \right)}$
Tipo 2	Tirante crítico a la salida ($h_1 - z$)/D < 1.5 $h_2/h_c < 1.0$ $S_0 < S_c$	$Q = C_{D2} A_c \sqrt{2g \left(h_1 - z + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - y_c - h_{f1-2} - h_{f2-3} \right)}$
Tipo 3	Flujo subcrítico en toda la alcantarilla ($h_1 - z$)/D < 1.5 $h_2/h_c > 1.0$ $h_2/D \leq 1.0$	$Q = C_{D3} A_3 \sqrt{2g \left(h_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - h_3 - h_{f1-2} - h_{f2-3} \right)}$
Tipo 4	Salida ahogada ($h_1 - z$)/D > 1.0 $h_2/D > 1.0$	$Q = C_{D4} A_0 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 + (2gC_{D4}^2 n^2 L / R_0^{4/3})}}$
Tipo 5	Flujo supercrítico a la entrada ($h_1 - z$)/D ≥ 1.5 $h_2/D \leq 1.0$	$Q = C_{D5} A_0 \sqrt{2g(h_1 - z)}$
Tipo 6	Flujo lleno a la salida ($h_1 - z$)/D ≥ 1.5 $h_2/D \leq 1.0$	$Q = C_{D6} A_0 \sqrt{2g(h_1 - h_2 - h_{f2-3})}$

Tabla 19 Clasificación de los tipos de flujo en alcantarillas. (Fuente: IMFIA & MTOP, 2000).



Cabe destacar lo siguiente:

$$h_1=h_e; h_4=h_s$$

Las comprobaciones hidráulicas que se presentan son

1. Velocidad no sea superior a 4m/s
2. Altura a la entrada (H_e) sea mayor a la altura critica.

4.1.3.1.4 CÁLCULOS Y RESULTADOS.

Adoptando un tiempo de concentración $T_c=5\text{min}$, un coeficiente de escorrentía $C=0.5$, y aplicando la expresión del método racional explicado con anterioridad obtenemos los siguientes caudales para las diferentes alcantarillas.

Alcantarilla	Abscisa	Área Cuenca (km ²)	Coeficiente Escorrentía	T_c	ITR	Q (m ³ /s)
A1	0+214.82	0.0323	0.5	5	201.07	0.90
A2	0+688.94	0.0764	0.5	5	201.07	2.13
A3	0+788.95	0.0088	0.5	5	201.07	0.25
A4	0+954.27	0.0380	0.5	5	201.07	1.06
A5	1+066.69	0.0311	0.5	5	201.07	0.87
A6	1+264.24	0.0290	0.5	5	201.07	0.81
A7	1+536.07	0.0956	0.5	5	201.07	2.67
A8	1+629.89	0.1092	0.5	5	201.07	3.05
A9	1+888.55	0.1504	0.5	5	201.07	4.20
A10	2+263.15	0.1581	0.5	5	201.07	4.42
A11	2+685.77	0.1795	0.5	5	201.07	5.01
A12	2+978.65	0.2425	0.5	5	201.07	6.77
A13	3+294.75	0.1037	0.5	5	201.07	2.90
A14	3+590.41	0.0664	0.5	5	201.07	1.85
A15	4+028.73	0.0447	0.5	5	201.07	1.25
A16	4+351.32	0.0336	0.5	5	201.07	0.94
A17	4+679.88	0.0324	0.5	5	201.07	0.90
A18	5+005.85	0.0145	0.5	5	201.07	0.40
A19	5+257.27	0.0166	0.5	5	201.07	0.46
A20	5+380.54	0.0166	0.5	5	201.07	0.46
A21	5+702.24	0.0240	0.5	5	201.07	0.67
A22	6+036.68	0.0212	0.5	5	201.07	0.59
A23	6+307.94	0.0300	0.5	5	201.07	0.84
A24	6+626.12	0.0134	0.5	5	201.07	0.37
A25	6+678.23	0.0048	0.5	5	201.07	0.13

Tabla 20 Caudal aplicando el método racional).



El caudal total de diseño de una alcantarilla es igual a su caudal obtenido por el método racional más el caudal de la o las cunetas que llegan a la misma.

Para el tipo de sección de alcantarilla se tomó en cuenta el valor de caudal que llega a la misma considerando que para caudales menores a $6\text{m}^3/\text{s}$ se considerara una sección circular, y para caudales mayores a $6\text{m}^3/\text{s}$ sección rectangular.

La siguiente tabla indica el tipo de sección de alcantarilla en función de su caudal de diseño total.

Q M.Racional(m3/s)	Qcuneta (m3/s)	Qtotal Alc (m3/s)	Tipo Alcantarilla
0.90	0.042	0.944	Circular
2.13	0.111	2.245	Circular
0.25	0.023	0.269	Circular
1.06	0.039	1.100	Circular
0.87	0.026	0.895	Circular
0.81	0.046	0.856	Circular
2.67	0.086	2.756	Circular
3.05	0.061	3.110	Circular
4.20	0.088	4.288	Circular
4.42	0.079	4.494	Circular
5.01	0.089	5.102	Circular
6.77	0.074	6.846	Cajón
2.90	0.069	2.965	Circular
1.85	0.061	1.915	Circular
1.25	0.042	1.290	Circular
0.94	0.076	1.014	Circular
0.90	0.077	0.982	Circular
0.40	0.076	0.481	Circular
0.46	0.059	0.523	Circular
0.46	0.029	0.492	Circular
0.67	0.075	0.746	Circular
0.59	0.078	0.670	Circular
0.84	0.064	0.901	Circular
0.37	0.075	0.449	Circular
0.13	0.012	0.146	Circular

Tabla 21 Tipo de alcantarillas.



Para el diseño hidráulico de la sección utilizamos las expresiones de Manning con:

Coeficiente de rugosidad		
Hormigón Cajón	n	0.014
Acero corrugado Circulares	n	0.024

Tabla 22 Coeficiente de rugosidad para el diseño (Fuente: hidráulico de canales abiertos, Ven Te Chow, 1994).

El valor de la pendiente (S_n)=2% que cumple el rango dictado por la MOPT (0.5%-3%).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Alcantarilla	Abscisa	N	Dimensiones		Caudal Manning					Comprobación $Q > 1.25Q_{dis}$
			b (m)	L (m)	Sn (%)	A (m ²)	P (m)	R (m)	Q (m ³ /s)	
A1	0+214.82	0.024	1.2	13	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A2	0+688.94	0.024	1.2	12	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A3	0+788.95	0.024	1.2	13	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A4	0+954.27	0.024	1.2	18	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A5	1+066.69	0.024	1.2	10	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A6	1+264.24	0.024	1.2	10	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A7	1+536.07	0.024	1.4	12	2	1.54	4.40	0.35	4.505	Cumple dimensionamiento
A8	1+629.89	0.024	1.4	9	2	1.54	4.40	0.35	4.505	Cumple dimensionamiento
A9	1+888.55	0.024	1.6	11	2	2.01	5.03	0.4	6.432	Cumple dimensionamiento
A10	2+263.15	0.024	1.6	13	2	2.01	5.03	0.4	6.432	Cumple dimensionamiento
A11	2+685.77	0.024	1.6	10	2	2.01	5.03	0.4	6.432	Cumple dimensionamiento
A12	2+978.65	0.014	1.6	10	2	2.56	4.80	0.5	17.007	Cumple dimensionamiento
A13	3+294.75	0.024	1.4	10	2	1.54	4.40	0.35	4.505	Cumple dimensionamiento
A14	3+590.41	0.024	1.2	11	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A15	4+028.73	0.024	1.2	10	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A16	4+351.32	0.024	1.2	11	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A17	4+679.88	0.024	1.2	12	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A18	5+005.85	0.024	1.2	11	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A19	5+257.27	0.024	1.2	14	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A20	5+380.54	0.024	1.2	14	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A21	5+702.24	0.024	1.2	11	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A22	6+036.68	0.024	1.2	9	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A23	6+307.94	0.024	1.2	12	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A24	6+626.12	0.024	1.2	14	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento
A25	6+678.23	0.024	1.2	10	2	1.13	3.77	0.3	2.987	Cumple dimensionamiento

Tabla 23 Diseño hidráulico de alcantarillas



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Análisis de flujo												
Alcantarilla	Abscisa	Q _{total Alc} (m ³ /s)	b (m)	θ _c	T _c	Ac	P _c	R _c	Sc (%)	V _c (m/s)	Comprobacion V<4.5m/s	Tipo de flujo
A1	0+214.82	0.944	1.2	2.89	1.19	0.48	1.74	0.27	1.268	1.98	Velocidad adecuado	Tipo 1
A2	0+688.94	2.245	1.2	3.91	1.11	0.83	2.35	0.35	1.688	2.71	Velocidad adecuado	Tipo 1
A3	0+788.95	0.269	1.2	2.00	1.01	0.20	1.20	0.16	1.223	1.38	Velocidad adecuado	Tipo 1
A4	0+954.27	1.100	1.2	3.04	1.20	0.53	1.82	0.29	1.299	2.08	Velocidad adecuado	Tipo 1
A5	1+066.69	0.895	1.2	2.84	1.19	0.46	1.70	0.27	1.269	1.95	Velocidad adecuado	Tipo 1
A6	1+264.24	0.856	1.2	2.80	1.18	0.44	1.68	0.26	1.275	1.93	Velocidad adecuado	Tipo 1
A7	1+536.07	2.756	1.4	3.65	1.35	1.02	2.56	0.40	1.453	2.71	Velocidad adecuado	Tipo 1
A8	1+629.89	3.110	1.4	3.82	1.32	1.09	2.68	0.41	1.546	2.85	Velocidad adecuado	Tipo 1
A9	1+888.55	4.288	1.6	3.81	1.51	1.42	3.04	0.46	1.469	3.03	Velocidad adecuado	Tipo 1
A10	2+263.15	4.494	1.6	3.87	1.49	1.45	3.10	0.47	1.509	3.09	Velocidad adecuado	Tipo 1
A11	2+685.77	5.102	1.6	4.07	1.43	1.56	3.26	0.48	1.646	3.27	Velocidad adecuado	Tipo 1
A12	2+978.65	6.846	1.6	-----	-----	1.97	4.06	0.48	0.621	3.48	Velocidad adecuado	Tipo 1
A13	3+294.75	2.965	1.4	3.76	1.33	1.06	2.63	0.40	1.506	2.79	Velocidad adecuado	Tipo 1
A14	3+590.41	1.915	1.2	3.68	1.16	0.76	2.21	0.34	1.545	2.53	Velocidad adecuado	Tipo 1
A15	4+028.73	1.290	1.2	3.20	1.20	0.59	1.92	0.31	1.344	2.19	Velocidad adecuado	Tipo 1
A16	4+351.32	1.014	1.2	2.96	1.20	0.50	1.78	0.28	1.281	2.03	Velocidad adecuado	Tipo 1
A17	4+679.88	0.982	1.2	2.93	1.19	0.49	1.76	0.28	1.275	2.01	Velocidad adecuado	Tipo 1
A18	5+005.85	0.481	1.2	2.36	1.11	0.30	1.42	0.21	1.204	1.62	Velocidad adecuado	Tipo 1
A19	5+257.27	0.523	1.2	2.42	1.12	0.32	1.45	0.22	1.187	1.65	Velocidad adecuado	Tipo 1
A20	5+380.54	0.492	1.2	2.38	1.11	0.30	1.43	0.21	1.197	1.62	Velocidad adecuado	Tipo 1
A21	5+702.24	0.746	1.2	2.70	1.17	0.41	1.62	0.25	1.187	1.82	Velocidad adecuado	Tipo 1
A22	6+036.68	0.670	1.2	2.60	1.16	0.38	1.56	0.24	1.223	1.78	Velocidad adecuado	Tipo 1
A23	6+307.94	0.901	1.2	2.87	1.19	0.47	1.72	0.27	1.200	1.92	Velocidad adecuado	Tipo 1
A24	6+626.12	0.449	1.2	2.32	1.10	0.29	1.39	0.21	1.179	1.57	Velocidad adecuado	Tipo 1
A25	6+678.23	0.146	1.2	1.68	0.89	0.12	1.01	0.12	1.311	1.18	Velocidad adecuado	Tipo 1

Tabla 24 Análisis de flujo de alcantarillas.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Para la comprobación hidráulica cumplimos los parámetros del Tipo 1 de flujo. Tabla 24.

Alcantarillas	ABSCISA	Sc (%)	Vc (m/s)	Comprobacion $V < 4.5 \text{ m/s}$	hv	ke	he	He	He/D	Tipo de flujo
A1	0+214.82	1.267	1.98	Velocidad adecuado	0.20	0.20	0.04	0.77	0.64	Tipo 1
A2	0+688.94	1.687	2.71	Velocidad adecuado	0.37	0.20	0.07	1.27	1.06	Tipo 1
A3	0+788.95	1.225	1.38	Velocidad adecuado	0.10	0.20	0.02	0.39	0.33	Tipo 1
A4	0+954.27	1.299	2.08	Velocidad adecuado	0.22	0.20	0.04	0.83	0.70	Tipo 1
A5	1+066.69	1.269	1.95	Velocidad adecuado	0.19	0.20	0.04	0.74	0.62	Tipo 1
A6	1+264.24	1.275	1.93	Velocidad adecuado	0.19	0.20	0.04	0.73	0.60	Tipo 1
A7	1+536.07	1.453	2.71	Velocidad adecuado	0.38	0.20	0.08	1.33	0.95	Tipo 1
A8	1+629.89	1.546	2.85	Velocidad adecuado	0.41	0.20	0.08	1.43	1.02	Tipo 1
A9	1+888.55	1.469	3.03	Velocidad adecuado	0.47	0.20	0.09	1.62	1.01	Tipo 1
A10	2+263.15	1.509	3.09	Velocidad adecuado	0.49	0.20	0.10	1.67	1.04	Tipo 1
A11	2+685.77	1.645	3.27	Velocidad adecuado	0.55	0.20	0.11	1.81	1.13	Tipo 1
A12	2+978.65	0.621	3.48	Velocidad adecuado	0.62	0.50	0.31	2.15	1.35	Tipo 1
A13	3+294.75	1.506	2.79	Velocidad adecuado	0.40	0.20	0.08	1.39	0.99	Tipo 1
A14	3+590.41	1.545	2.53	Velocidad adecuado	0.33	0.20	0.07	1.15	0.96	Tipo 1
A15	4+028.73	1.344	2.19	Velocidad adecuado	0.25	0.20	0.05	0.91	0.76	Tipo 1
A16	4+351.32	1.281	2.03	Velocidad adecuado	0.21	0.20	0.04	0.80	0.66	Tipo 1
A17	4+679.88	1.275	2.01	Velocidad adecuado	0.21	0.20	0.04	0.78	0.65	Tipo 1
A18	5+005.85	1.206	1.62	Velocidad adecuado	0.13	0.20	0.03	0.53	0.44	Tipo 1
A19	5+257.27	1.185	1.65	Velocidad adecuado	0.14	0.20	0.03	0.55	0.46	Tipo 1
A20	5+380.54	1.199	1.63	Velocidad adecuado	0.13	0.20	0.03	0.54	0.45	Tipo 1
A21	5+702.24	1.186	1.82	Velocidad adecuado	0.17	0.20	0.03	0.67	0.56	Tipo 1
A22	6+036.68	1.224	1.78	Velocidad adecuado	0.16	0.20	0.03	0.63	0.53	Tipo 1
A23	6+307.94	1.201	1.92	Velocidad adecuado	0.19	0.20	0.04	0.75	0.62	Tipo 1
A24	6+626.12	1.178	1.57	Velocidad adecuado	0.13	0.20	0.03	0.51	0.43	Tipo 1
A25	6+678.23	1.316	1.18	Velocidad adecuado	0.07	0.20	0.01	0.29	0.24	Tipo 1

Tabla 25 Comprobación hidráulica de alcantarillas

4.1.5 EMPLAZAMIENTO DE LAS OBRAS DE DRENAJE DISEÑADAS EN LOS PLANOS TOPOGRAFICOS.

Planos de detalle constructivo

Gráficos de Cabezales

Para alcantarilla de diámetro de 1200 mm

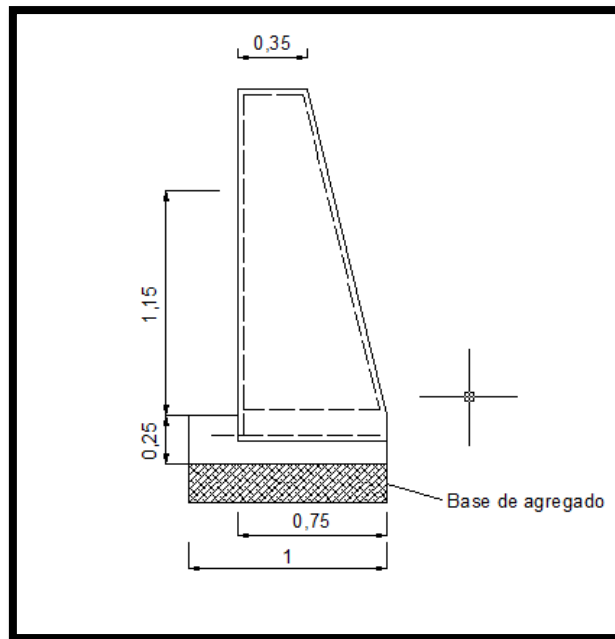


Figura 38 Vista lateral de cabezal para alcantarillas de 1200mm.

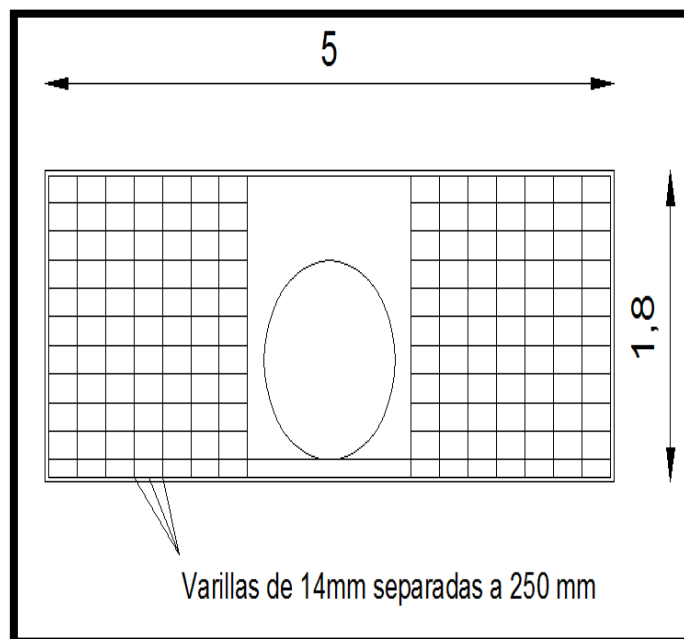


Figura 39 Elevación frontal del cabezal para alcantarillas de 1200mm.

Para alcantarillas de diámetro de 1400 mm

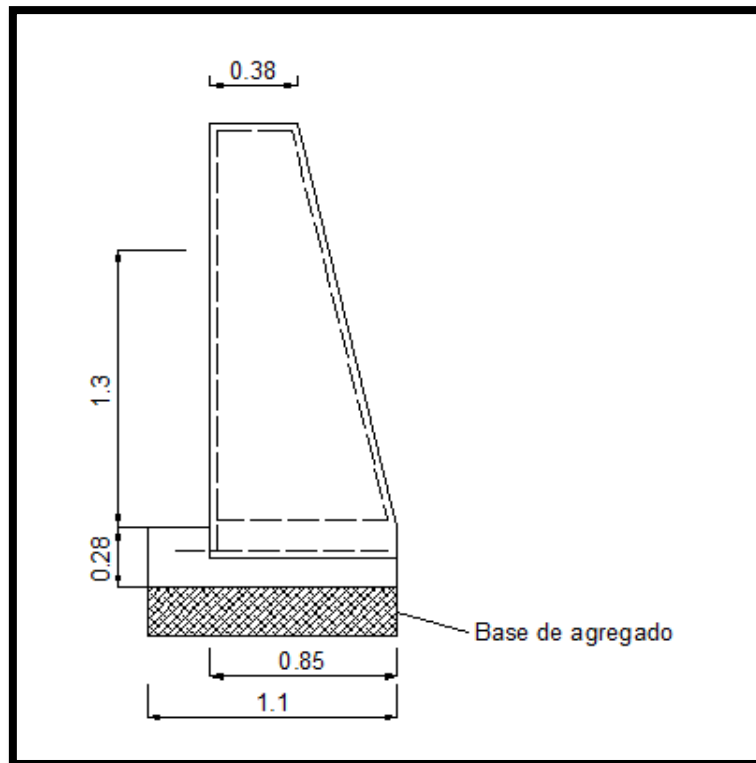


Figura 40 Elevación lateral de cabezal para alcantarillas de 1400mm.

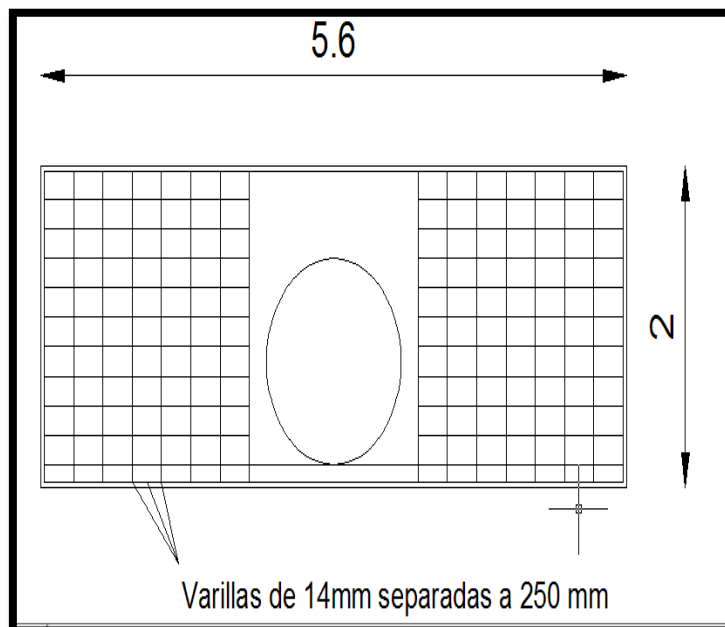


Figura 41 Elevación frontal del cabezal para alcantarillas de 1400mm.

Para alcantarillas de diámetro de 1600mm.

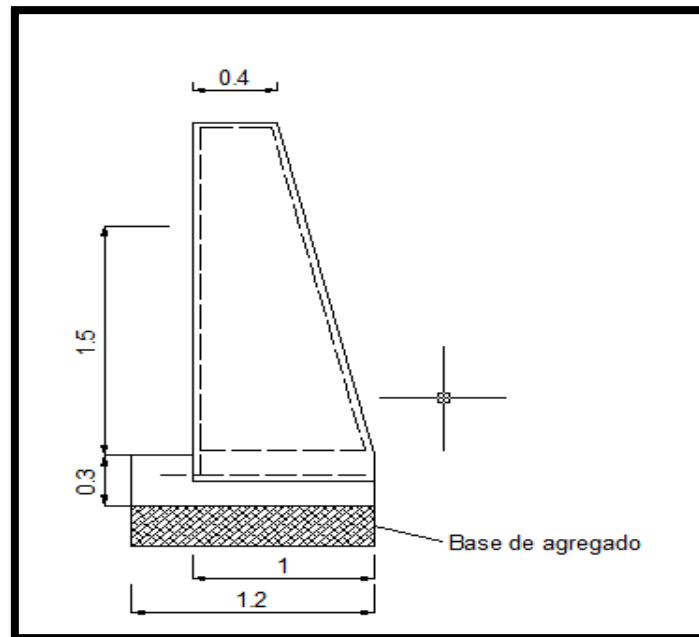


Figura 42 Elevación lateral de cabezal para alcantarillas de 1600mm.

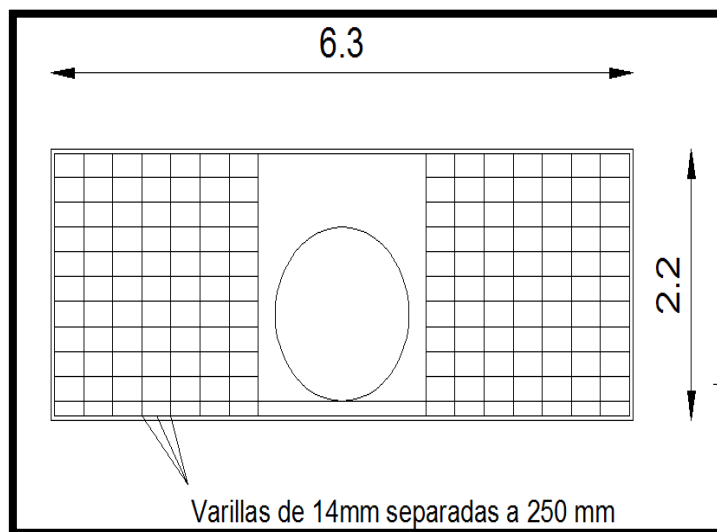


Figura 43 Elevación frontal de cabezal para alcantarilla de 1600mm.

Para las alcantarillas en cajón de 1.6 m.

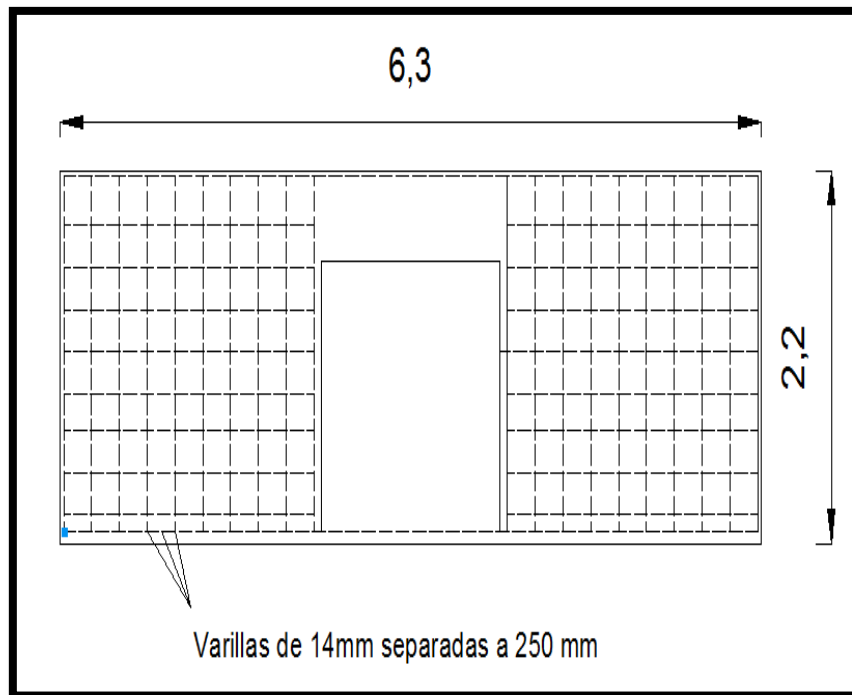


Figura 44 Elevación frontal de cabezal para alcantarilla de cajón.

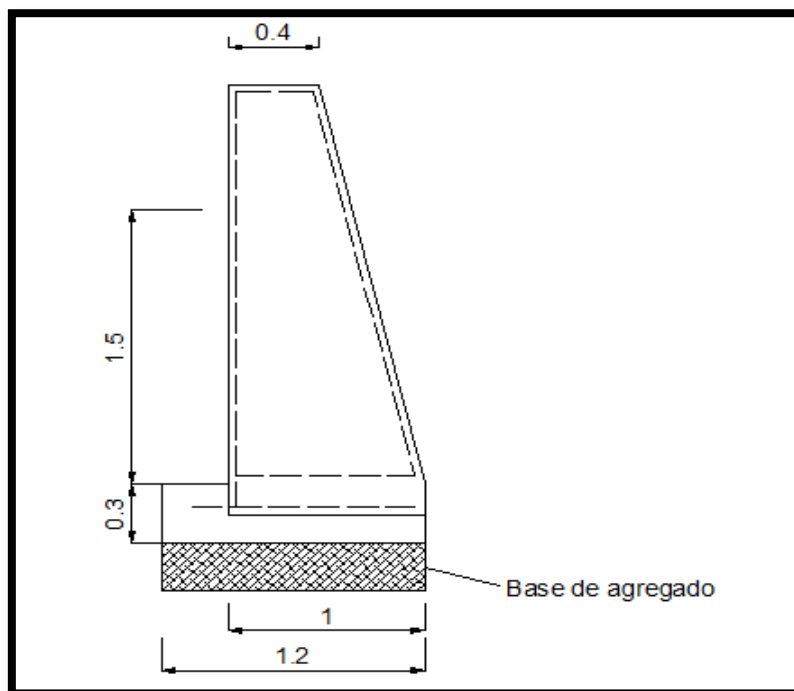


Figura 45 Elevación lateral de cabezal para alcantarillas de cajón.



CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A través de la topografía a detalle de la vía en estudio, se determinó puntos estratégicos para la ubicación y colocación de alcantarillas, además nos dan información sobre posibles corrientes de agua permitieron la delimitación de cuencas.
- En el tema de subdrenaje no se ha diseñado el elemento como si, pero es de necesaria importancia conocer a fondo su función principal dentro de un proyecto vial, por lo que en el presente documento se adjuntan definiciones conceptos, propiedades más importantes y determinantes para el diseño del elemento.
- En función del tipo de estructura hidráulica o importancia de la obra, se deberá determinar el periodo de retorno, en el presente documento para el diseño de los elementos tanto cunetas como alcantarillas se tomó un periodo de retorno de 25 años, ya que no se requería la implementación de drenaje de arte mayor como son los puentes para los cuales se adopta un periodo de retorno de 100 años.
- A través del emplazamiento de la franja topográfica de la vía a estudiarse, y con la ayuda de Arc Gis se logró determinar el valor de las áreas de drenaje para sus alcantarillas respectivas, arrojando cada una valores menores a 1.6km^2 , por ende se realizó el diseño de drenaje aplicado únicamente el “Método Racional”.
- El valor del coeficiente de escorrentía se lo determino a través de la visita al lugar del proyecto, asociando el lugar en cuanto a su cobertura vegetal, tipo de suelo en función de su permeabilidad, y a la pendiente de sus cuencas o taludes adyacentes.



CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Auzmendinga, E.; Solabarrieta, J; Villa, A: “Cómo diseñar materiales y realizar tutorías en la formación online”

López Cadenas de Llano, L. (Ed.) Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. 1994. Ed. TRAGSA, MUNDI-PRENSA.

Gutiérrez Elorza, M. “Geomorfología”. 2008. Ed. Pearson Prentice Hall.

Strahler, Arthur N. “Geografía física”. 1989. Ed. Omega.

Tarbut, J; Lutgens F.K. “Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física”.

Hudson, N., 1982. “Conservación de suelo” Reverte.

López Cadenas de Llano, F. (Coord.), 1994. “Restauración hidrológico-forestal de cuencas” Mundi Prensa –Tragsa.

López Cadenas de Llano, F. (Coord.). 2003. “La Ingeniería en los procesos de desertificación”

Schwab, G.O. - Frevert, R.K. - Edminster, “Ingeniería de conservación de suelos y aguas”.

Rühle, F. (1966). “Traducción y Adaptación de los Gráficos Hidráulicos para el diseño de Alcantarillas preparados por el Bureau of Public Roads – EEUU, 1964” Dirección Nacional de Vialidad.

Catedra de Transporte II (1992) “Diseño Geométrico de Caminos”

Carciente, Jacob (1985). “Carreteras: estudio y proyecto”. Ed. Vega, Caracas.

Office of Technology Applications (1999). “Hydrain Integrated Drainage Design Computer System. Volume V. HY8- Culverts” Federal Highways Administration.

Fundamentos de Hidrología de Superficie. Francisco Javier Aparicio Mijires. Noriega Editores, Editorial Limusa (1997).

Hidrología en la ingeniería. German Monsalve Sáenz. Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería (1995).

Hidrología Aplicada. Chow, Maidment, Mays. Editorial Mc Graw- hill (1993).

Hidrología. Dr. Medardo Molina. Universidad Agraria “La Molina” Departamento de recursos de agua y tierra (1975).

Instituto nacional de vías (INVIAS), 2006. “Manual para la inspección visual de estructuras de drenaje”. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.



Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras, 3-5.

Ministerio de transporte y obras públicas (MTOP), 2003. “Normas de diseño geométrico de carreteras”, Quito – Ecuador. Capítulo 9. Drenajes, 254-313.